

Aus der Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten  
Marburg a. d. Lahn  
Direktor: Prof. Dr. med. J. Berendes

# **Objektive Höruntersuchungen nach schwellennahen akustischen Reizen mittels der Volumenpulsmessung**

- I. bei normalhörigen Erwachsenen vor und nach  
NOLUDAR®- und CYRPON®-medikation**
- II. bei normalhörigen Kindern vor und nach  
CYRPON®-medikation**
- III. bei schwerhörigen Kindern**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin  
der hohen Medizinischen Fakultät  
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

**Wilhelm Dietzel**  
aus Heldra

Marburg 1966



Aus der Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten  
Marburg a. d. Lahn  
Direktor: Prof. Dr. med. J. Berendes

# **Objektive Höruntersuchungen nach schwelennahen akustischen Reizen mittels der Volumenpulsmessung**

- I. bei normalhörigen Erwachsenen vor und nach  
NOLUDAR®- und CYRPON®-medikation**
- II. bei normalhörigen Kindern vor und nach  
CYRPON®-medikation**
- III. bei schwerhörigen Kindern**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin  
der hohen Medizinischen Fakultät  
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

**Wilhelm Dietzel**

aus Heldra

Marburg 1966



Angenommen von der Medizinischen Fakultät  
der Universität Marburg am 29. November 1966  
gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof. Dr. med. et med. dent. H. Heuser  
Referent: Doz. Dr. med. G. Kottmeyer  
Correferent: Prof. Dr. med. J. Berendes

## Inhaltsverzeichnis

### A. Einleitung und Fragestellung

### B. Besprechung der Literatur

1. Hörstörungen und Hörverlust sowie ihre Folgen unter besonderer Berücksichtigung im Kindesalter
2. Möglichkeiten und Methoden zur objektiven Hörprüfung
3. Der Einfluß von Affekten auf den Organismus und das Problem ihrer Registrierung
4. Kreislaufreaktionen nach akustischen Reizen
5. Methoden zur Bestimmung der Volumen - und Durchblutungsänderungen in der Haut
6. Die Rheographie und ihre Anwendungsmöglichkeiten
7. Allgemeiner Kurvenverlauf

### C. Experimenteller Teil

1. Versuchsaufbau und Bedingungen zur Registrierung von Volumenpulsänderungen nach schwellennahen akustischen Reizen
2. Versuchsablauf
3. Psychopharmaka und ihre allgemeinen Wirkungen
4. Die Pharmakologie von NOLUDAR (R)
5. Die Pharmakologie von CYRPON (R)

### D. Ergebnisse

1. Besprechung der Volumenpulskurven nach NOLUDAR<sup>(R)</sup>-applikationen
2. Besprechung der Volumenpulskurven von Erwachsenen nach CYRPON<sup>(R)</sup> applikation
3. Volumenpulsschreibung bei Kindern vor und nach Sedierung mit CYRPON<sup>(R)</sup>

4. Vergleich der Intensitätserhöhungen nach Sedierung von Erwachsenen und Kindern sowie Diskussion der Ergebnisse
5. Objektive Höruntersuchungen mittels der Volumenpulsschreibung bei schwerhörigen Kindern
6. Besprechung der Ergebnisse von Untersuchungen schwerhöriger Kinder
7. Volumenpulsschreibung nach akustischen Reizen bei schwerhörigen Erwachsenen

E. Zusammenfassung

F. Literaturverzeichnis

## A. Einleitung und Fragestellung

Die Medizin hat sich immer mehr in die Tiefe und Breite fortentwickelt, was nicht zuletzt auch auf dem Fortschritt der Technik beruht. Durch die Vielzahl von Apparaten und ihre Anwendung in der Diagnosestellung wird es möglich, während des Verlaufs von Krankheiten klinische Befunde zu erhärten, subjektive Angaben über Beschwerden zu bestätigen oder anzuzweifeln. Auch pathologische Veränderungen lassen sich rechtzeitig erfassen, die zunächst uncharakteristische Symptome in der Anamnese und dem klinischen Befund zeigen. Bei der Leistungsfähigkeit technischer Geräte muß vor einer kritiklosen Überbewertung ihrer registrierten Befunde in der Medizin gewarnt werden. Der Arzt hat die Aufgabe, diese Befunde genau auszuwerten und sie in das Krankheitsbild seines Patienten richtig einzuordnen. So gehen parallel mit dem Fortschritt die an ihn gestellten Anforderungen.

Auch in der Otologie werden moderne elektronische Geräte zum Erkennen und Behandeln von Erkrankungen angewendet. Inwieweit es möglich ist, objektive Höruntersuchungen mittels der Volumenpulsschreibung nach schwelennahen akustischen Reizen an Erwachsenen, Kindern, normal- und schwerhörigen Patienten unter den noch zu erläuternden Bedingungen durchzuführen, soll anschließend erörtert werden. Besonders wichtig ist die genaue Bestimmung der Hörkurve von Schwerhörigen, da ihnen durch Anpassung eines geeigneten Hörgerätes entscheidend geholfen werden kann. Um dieses verständlich zu machen, folgt eine kurze Ausführung über Hörstörungen und Hörverlust sowie deren Problematik vor allem bei Kindern. Daraus ergibt sich die Forderung nach einer sicheren Methode zur Bestimmung der Hörkurve.

## B. Besprechung der Literatur

### 1. Hörstörungen und Hörverlust sowie ihre Folgen unter besonderer Berücksichtigung im Kindesalter

TROELTSCH wies schon 1862 aus ärztlicher Sicht auf dieses Problem hin. Ihm folgten F. NAGER und Max MEYER 1952, die

ebenfalls die Bedeutung des Hörsinnes für die geistige und seelische Entwicklung ganz besonders im Kindesalter umfassend erkannten. Ein Wort von SUTERMEISTER 1914, des frühzeitig erkrankten Taubstummenpredigers, vermag wohl am trefflichsten die Situation des Hörverlustes darzulegen: "Ich wage zu behaupten, daß kein anderes Gebrechen von so verhängnisvollen Folgen begleitet ist, wie die Taubstummheit, daß kein anderer Körperfehler so schwere Seelenfehler zeigt wie sie. Und das seltsame ist, daß sogar manche intelligente Spätertaubte in diesen Fehler verfallen wie Taubgeborene. Es ist gerade, als wenn sie mit dem Verlust des Gehörs sogleich seelische und geistige Defekte erlitten." Ganz dementgegen steht die Meinung der normal-sinnigen Umwelt (BECKMANN), die den Sehverlust für schlimmer und tragischer als den Verlust des Gehörs hält. Hören ist Voraussetzung für den Spracherwerb und mithin auch für den menschlichen Kontakt. Ein Kind beginnt erst dann zu sprechen, wenn es über Höreindrücke verfügt. Es spricht schließlich nur, weil es hört und spricht so, wie es hört. Verständlich wird, daß ein taubstummes Kind in die Isolierung gerät. Demzufolge muß es sich in geistiger und seelischer Hinsicht anders entwickeln. Die Struktur und der Querschnitt seiner Person weicht von der Norm ab. Kontaktmangel und Egozentrizität resultieren schließlich. Letztere wird gefolgt von einer Überkompensation, die in Anmaßung und Geltungssucht ihren Niederschlag zeigt (BECKMANN). Von keinem anderen Sinnesorgan können die Aufgaben des Hörens mit der daraus resultierenden normalen Entwicklung übernommen und kompensiert werden. Der Zeitpunkt des Hörverlustes besonders im Kindesalter ist von ganz entscheidender Bedeutung, weil in diesem Lebensabschnitt die sprachliche und geistige Entwicklung so stürmisch wie niemals wieder erfolgt. Sogar Erlebnisstil, soziale Einstellung und das Selbstbewußtsein erhalten bereits in diesem Alter ihre vorläufige Prägung. Aus den angedeuteten Folgen des Hörverlustes bzw. der Höreinschränkung, die z.T.

recht schwerwiegend sind, ergibt sich ganz zwangsläufig die Forderung, rechtzeitig eine solche zu diagnostizieren und - am besten mit einem Audiometer - eine Hörprüfung vorzunehmen. Dieses war bisher wegen der unzureichenden Technik oft nicht exakt möglich. Viele unter den Patienten, die scheinbar taub sind, verfügen über ein Restgehör. BEZOLD nimmt 30 %, SIEBEMANN 20 % vollständig taube Personen an. Der Prozentsatz wird immer geringer, je weiter die Diagnostik vorangetrieben wird. HUIZING, BORDLEY und HARDY, WHETNALL, EWING, FISCH, EWERTSEN, v. UDEN u.a. nehmen nur 5 - 10 % absolut taube Kinder an, für die derzeitig keine Möglichkeit einer Hörverbesserung besteht. EWERTSEN betont auch, daß die wenigsten hörgestörten Kinder der Gruppe der praktisch Tauben angehören. Die meisten zählen zu den "Mittel-Schwerhörigen", für die das Tragen eines Hörgerätes entscheidend zur physiologischen Entwicklung beiträgt. Immer mehr muß klar herausgestellt werden, daß eine genaue, insbesondere auch frühzeitige Hörkurvenbestimmung unerläßlich ist, bevor eine wirksame Behandlung erfolgen kann. Über die Ursachen kindlicher Hörstörungen zu berichten, muß im Rahmen dieser Arbeit entfallen. Nur die Tatsache sei hier angeführt, - ein recht ähnlicher Fall ist unter den eigens untersuchten Patienten und wird bei der Besprechung der Versuche diskutiert, - daß nämlich emotionelle Faktoren im frühen wie auch späten Kindesalter zu einer scheinbaren Hörstörung führen können. MYKLEBUST weist darauf hin. Diesbezüglich stellte er an 228 hörgestörten Kindern Untersuchungen an. Bei derartigen psychogenen Hörstörungen vermag eine genaue Erhebung der Anamnese die Diagnosestellung zu erleichtern. Eine psychiatrische Untersuchung und Therapie kann hierbei anschließend ohne weiteres Zutun des Otologen allein wirksam werden. Ganz allgemein sei bemerkt, daß trotz großer Bemühungen, die Ätiologie verschiedener Schwerhörigkeiten aufzuklären, 30 % der Fälle ungelöst bleiben. Im übrigen ist es oft nur möglich, eine bestimmte Ursache für wahrscheinlich zu halten, ohne sie sicher eruieren zu können (BECKMANN).

## II. Möglichkeiten und Methoden zur objektiven Hörprüfung

Aus der wichtigen Erkenntnis heraus, Hörstörungen besonders beim Kleinkind früh zu diagnostizieren, sind zahlreiche Hörprüfungsmethoden entwickelt worden. Ihre Vielzahl läßt darauf schließen, wie unvollkommen und unbefriedigend sie in mancher Hinsicht sind, so daß immer wieder andere Formen gefunden werden müssen. Die meisten hörgestörten Kinder werden dem Hals-, Nasen-, Ohrenarzt im Alter von 1 - 3 Jahren vorgestellt. Diese Tatsache erklärt sich dadurch, daß schwerhörige Kinder auch eine Schrei- und Lallperiode durchmachen (J. EWING). Aber erst beim Ausbleiben der Sprachentwicklung werden die Eltern auf eine eventuell vorliegende Hörstörung aufmerksam, die MYKLEBUST und McHUGH auf Grund der kindlichen Verhaltensweisen für bestimmte Situationen in vier Gruppen einteilen:

I. periphere Schwerhörigkeit, II. zentral rezeptive Schwerhörigkeit (rezeptive Aphasie, sensorische Hörstummheit), III. psychogene (emotionelle) Schwerhörigkeit, IV. Intelligenzdefekte. Einzelne unspezifische Hörtests seien im folgenden kurz aufgeführt. Sie beruhen darauf, daß Hörreize auch beim Säugling Reflexreaktionen auslösen.

Bei dem MORO- oder Schreckreflex reagiert schon der Säugling nach genügend großer Intensität der Schallreize mit einer Bewegung, oder sogenannten ruckartigen Körperextension mit Umklammerungsbewegungen der Arme. Veränderungen in der Atmung können auf Schallreize hin auch registriert werden. Nach PEIPER folgt diesen eine verspätete Einatmung. Die Brauchbarkeit des akustisch auslösbaren Pupillenreflexes, bei dem nach einem Schallreiz eine Pupillenverengung mit nachfolgender Erweiterung bei normalhörigen Kindern eintritt, wird von KOTTMEYER wegen der methodischen Registrierschwierigkeiten für Routineuntersuchungen bezweifelt. Der aureopalpebrale Reflex (APR) nach akustischen Reizen beruht auf dem Lidschluß bei geöffneten, auf einem Zusammenpressen der Lider bei geschlossenen Augen. Eine

halbe Stunde nach der Geburt ist er nach FROEDING auslösbar. Der Autor kam zu dem positiven Ergebnis von 96,1 % bei 2000 Tests. I.R. EWING und A.W.G. EWING berichten, den ARP sowohl bei normal- als auch bei schwerhörigen Kindern bis zum Alter von 6 Monaten auslösen zu können. Danach bemüht sich der Säugling, die Schallquelle zu lokalisieren.

WEDENBERG verwendet Sinustöne des Audiometers, um damit genaue Ergebnisse des ARP zu erhalten. Schlafen die Säuglinge allerdings sehr tief, so gelingt die Reflexauslösung trotz Intensitäten von 115 dB nicht immer; flacher schlafende 1 - 10 Tage alte Kinder reagieren bei 105 - 110 dB. Dieses soll normalem Hören beim Auslösen des Stapediusreflexes entsprechen. Oft gelingt es auch nicht, den Reflex auszulösen, und zwar meistens dann nicht, wenn die Säuglinge irgendwie abgelenkt oder beschäftigt sind. WEDENBERG konnte Säuglinge mit Sinustönen im Frequenzbereich von 500 - 3000 Hz bei einer Intensität von 70 - 80 dB aus dem Tiefschlaf wecken, aus flacherem Schlaf war dieses bei 55 dB möglich, was der sogenannten Wecktonschwelle entspricht. HAHLBROCK beobachtete den Lidreflex bei einer Lautstärke von 110 dB, hin und wieder auch bei 80 dB, niemals bei 70 dB oder leiser. Als günstigste Frequenzen stellten sich 1000 und 2000 Hz heraus. Bei älteren Kindern, vom 3. Lebensjahr ab ist der APR in 99,2 % auslösbar, bei 0 - 1 Jährigen in 84 %. Im Bereiche der Fühlfrequenz (128 - 512 Hz) ist er in 18,7 % nach HAHLBROCK auslösbar.

Die Ergebnisse der Autoren zeigen, daß die Reaktionen völlig individuell erschöpfbar sind. Der positive Lidreflex spricht lediglich für ein mehr oder weniger gutes Hörvermögen. Beim Ausbleiben der erwarteten Reaktion kann sowohl Taubheit als auch stärkere Schwerhörigkeit bestehen. Ein Verfahren, hörgestörte Kinder und Säuglinge aus der Gesamtheit von normalhörigen herauszufinden, versucht I.R.EWING durch den SCREENING TEST. Er beruht darauf, daß über sechs Monate alte Säuglinge ziemlich sicher und regelmäßig das Bestreben zeigen, eine Schallquelle zu lokalisieren.

Andere Hörprüfungsmethoden sind der Ohrbinnenmuskelreflex (KOBRAK), der cochleolaryngeale Reflex (MUCKscher Stimmbandreflex) und der PREYERsche Ohrmuschelreflex. Letzterer ist mit großer Zuverlässigkeit beim Meerschweinchen aber auch erst bei größeren Intensitäten auslösbar.

Diese aufgezählten Hörtests im Säuglings- und Kleinkindesalter lassen keinen absolut sicheren Rückschluß auf einen bestehenden Hörverlust zu, über dessen Ausmaß mithin auch nichts ausgesagt werden kann. Ein Schwellenaudiogramm gibt die besten Aufschlüsse über die Art und den Umfang einer Hörstörung. Eine annähernd sichere audiologische Meßmethodik läßt sich erst im Alter von 5 - 7 Jahren durchführen, wobei man immer auf die aktive Mitarbeit und die mehr oder weniger verlässlichen Angaben der Kinder angewiesen bleibt (BECKMANN). Früher kann keinem Kinde der Vorgang der Audiometrie klargelegt werden. MYKLEBUST und andere untersuchten audiometrisch Kinder vom dritten Lebensjahr ab unter günstigen Umständen und in vereinfachter Weise. Dabei stellte sich heraus, daß die 3-Jährigen 12 - 15 dB oberhalb der Schwelle reagierten. Diese Abweichung wird bis zum sechsten Lebensjahr immer geringer.

Die Spielaudiometrie (EWING) beruht darauf, dem Kinde durch Training beizubringen, jeweils auf einen Tonreiz hin einen Spielvorgang auszuführen. Dabei ermüden die Kinder sehr schnell. Außerdem dauert es oft einige Tage, bis sie den Vorgang des "Spieles" begriffen haben. Vom Ende des dritten Lebensjahres an ist diese Hörprüfung frühestens durchzuführen. BECKMANN weist darauf hin, daß bei der Spielaudiometrie in einzelnen Fällen auf Sinustöne keinerlei Reaktion erfolgt, was hingegen auf mäßige Schallreize verschiedener Musikinstrumente der Fall sei. Die betreffenden Kinder zeigen meistens psychische Alterationen und eine auffällige Unzugänglichkeit. BECKMANN folgert daraus, daß diese Patienten aus emotionellen Gründen von denen ihnen unbekannten Sinustönen nicht angesprochen werden. KOTTMAYER kam

bei Registrierung der Hautdurchblutung mittels des eigens entwickelten Capillarbandschreibers zu dem gleichen Ergebnis. Nach drei bis vier Sinustönen fand er trotz Steigerung der Intensität keine Volumenänderungen mehr, was hingegen bei Schwebungsklängen nach 10 oder 15 Reizen noch der Fall war.

Zu den objektiven Hörprüfungen, bei denen man nicht auf die Mitarbeit des Probanden angewiesen ist, gehört die Messung des psychogalvanischen Hautwiderstandes (PGHT). Im Jahre 1888 erkannten FERE und 1908 VERAGUTH, daß sich der Hautwiderstand bei bestimmten exogenen und endogenen Reizen ändert. Dieser Reflex fehlt nach PEIPER im Schlaf und wird durch Narkotika gehemmt. Auch nach Ausschaltung oder Verletzungen der entsprechenden Hirnrinde und Nervenbahnen kommt er nicht zustande (REIN-SCHNEIDER). Bei jungen Säuglingen kann er nicht ausgelöst werden, vielmehr erst gegen Ende des ersten Lebensjahres (PEIPER). 1917 fand bereits ALBRECHT mit der Versuchsanordnung von VERAGUTH 20 Fälle einer psychogenen Hörstörung heraus. Die Methode zeigte insofern große Mängel, weil das Reflexgeschehen leicht erschöpfbar ist. Außerdem mußten Intensitäten von 50 - 60 dB gegeben werden, um den galvanischen Hautreflex registrieren zu können, wie Untersuchungen von MICHELS und RANDT, MASPETIOL, PIGMENT, TROUCHE u.a. ergaben. Sehr störend wirkten dabei ferner die wechselnden und inkonstanten Galvanometeraus-schläge. Nach ALBRECHT bestimmt nicht der Hörreiz, sondern der durch ihn ausgelöste Affekt die Stärke des Reflexes. BORDLEY und HARDY gelang es, den galvanischen Hautreflex im Hörschwellenbereich auszulösen. Sie gaben den Prüftönen zur Bahnung des bedingten Reflexes zusammen mit einem faradischen Hautreiz. Danach wurde der Reflex ganz sicher auch ohne gleichzeitige faradische Reizung ausgelöst. Vergleiche mit dem Normalaudiogramm zeigen nach HARDY und BORDLEY Abweichungen bis 5 dB, nach MASPETIOL und Mitarbeiter solche von 10 - 20 dB. Die Genauigkeit des PGHT (psychogalvanischer Hautwiderstandstest) läßt immer mehr nach, je jünger die zu

untersuchenden Kinder sind. Das unterschiedliche Alter der Probanden erklärt wahrscheinlich die Diskrepanz der von HARDY, BORDLEY und MASPETIOL gefundenen Hörschwellen und ihre Abweichungen vom Normalaudiogramm. BORDLEY behauptet, daß mit dieser Methode nur Störungen in peripheren und subcorticalen Hörbahnen, nicht aber im Cortexbereich festgestellt werden können, was er aus dem vermeintlichen Verlauf der Reflexbahn schließt. MYKLEBUST stellte dagegen fest, daß der PGHT bei manchen emotionell gestörten Kindern einen Hörverlust ergeben habe, der später mit anderen Methoden nicht bestätigt wurde. Aus dem Dargestellten ergibt sich die fragliche Zuverlässigkeit und Sicherheit dieser objektiven Hörprüfmethode. Dabei bleibt unberücksichtigt, daß besonders zu ihrer Durchführung viel Erfahrung gehört. Außerdem ist der zeitliche Aufwand noch sehr groß. Das Kind empfindet die faradische Reizung unangenehm. SCHULZ vermeidet diesen Nachteil, indem er den Reflex durch wiederholte Ton- Lichtreizfolge bahnt. Seine Untersuchungsergebnisse sind in 85 % der Fälle positiv.

Eine andere Methode, Hörstörungen frühzeitig zu erkennen, beruht auf der Beobachtung und Registrierung der Atmung nach akustischen Reizen am schlafenden Kinde(ROSENAU). Diese sogenannte Schlafbeschallung führte ROSENAU an Kindern von 1 1/2 Monaten bis 12 Jahren durch. Hohe Intensitäten lösten erst Reaktionen aus. Der Autor lehnt einen Einfluß der Schlaftiefe für das Zustandekommen der Reaktion ab. Dagegen spielt sie zur Bestimmung der Wecktonschwelle nach ROSENAU eine entscheidende Rolle. Die Nachteile der Schlafbeschallung werden deutlich, wenn man bedenkt, daß relativ große Intensitäten bei normalhörigen Kindern erst eine Änderung der Atmung bewirken und die Untersuchung nur nachts im Schlaf durchführbar ist. Deshalb kann sie ambulant keine Verwendung finden. Unberücksichtigt läßt ROSENAU auch bei seinen Versuchen die Einwirkung von Träumen auf die Atmung. Er zeigt mit seinen Ergebnissen,

daß die Aktivitätsänderung des ZNS nicht allein von der Intensität sondern auch von der Frequenz der Reintöne abhängt.

Zuverlässig und empfindlich ist die objektive Höruntersuchung nach Schwebungsklängen mittels der Fingerplethysmographie unter Verwendung eines Kapselplethysmographen von KOTTMEYER. Nach seiner Meinung haben Schwebungsklänge eine bessere affektive Wirkung als Sinustöne. Bevor diese Methode näher beschrieben wird, soll der Einfluß von Affekten auf den Kreislauf und andere Körperfunktionen unter besonderer Berücksichtigung angioperipherer Wirkungen von akustischen Reizen genauere Erwähnung finden.

### III. Der Einfluß von Affekten auf den Organismus und das Problem ihrer Registrierung

Nach Angaben von DARWIN soll sich der Physiologe BELL als erster mit körperlichen Reaktionen nach verschiedenen Affekten beschäftigt haben. Gemütsreaktionen sind eng mit körperlichen Ausdrucksformen verbunden. "Die meisten unserer Gemütsbewegungen sind so innig mit ihren Ausdrucksformen verbunden, daß sie kaum existieren, wenn der Körper passiv bleibt" (DARWIN). Bleibt der Körper also in unveränderter Reaktionslage, bestehen kaum Abweichungen in der Gemütsverfassung. DARWIN folgen JAMES und LANGE mit ihrer sensualistischen Theorie.

FÈRE hat die Muskelkraft mit einem Dynamometer nach Farb-  
reizen gemessen. Er stellte fest, daß langwelliges Licht stärkere Muskelkontraktionen als kurzwelliges bewirkt. Daraus schloß er auf eine größere Blutfülle des Vorderarmes nach rotem als nach violetterem Licht. Bei Untersuchungen mit Tonreizen fand er, nicht nur die Intensitäten, sondern auch die Frequenzen von Schallreizen seien für Veränderungen der Muskelkraft und Durchblutungsverhältnisse bedeutend.

MOSSO registrierte mittels der Armplethysmographie eine durch Lustgefühle bedingte Zunahme, eine durch Unlustgefühle hervorgerufene Abnahme des Armvolumens; LEHMANN kam mit derselben Methode zu seinen Ergebnissen. Als Lustgefühl führt er z.B. das Rauchen einer Zigarette von einem Raucher, als Unlustgefühl das von einem Nichtraucher an. Hierin glaubt der Autor den besten Beweis zwischen dem Bewußtseinszustand und den physiologischen Veränderungen zeigen zu können. Nach seiner Meinung muß ein äußerer Reiz bis zum Bewußtsein durchdringen, soll er körperliche Veränderungen auslösen. Letztere sind um so ausgeprägter, desto stärker ein psychischer Zustand die Aufmerksamkeit beansprucht. R. MÜLLER bestreitet die von LEHMANN gefundenen Ergebnisse. Er hält die plethysmographischen Reaktionen LEHMANNs für Wellen dritter Ordnung oder für Reizwellen nach DEAHA und LATSCHENBERGER. ISTOMANOW und TARCHANOFF nehmen eine Volumenabnahme und Sinken der Hauttemperatur an der betreffenden Stelle an, wo Rezeptoren durch die verschiedensten Reize erregt werden. Genau in entgegengesetzter Weise sollen Wärme, angenehme Gerüche und süßer Geschmack wie auch schmerzhaftige Erregungen wirken. Die Hirngefäße zeigen ein umgekehrtes Verhalten. MENTZ berichtet über Untersuchungen, bei denen er Dauer, Frequenz und Amplitude von Puls und Atmung nach akustischen Reizen registrierte. Klänge, Geräusche und Stimmgabeltöne verwendete er zur Schallerzeugung. Stärker als Töne bewirkten Klänge Puls- und Atemänderungen. Mit steigender Intensität der Töne, Klänge und Geräusche vergrößerte sich die Pulsdauer. Bei sehr großen Intensitäten traten Unlustgefühle auf, die zu einer Abnahme der Pulsfrequenz führten. Der Autor erkannte eine verschiedene Wirkung von harmonischen und disharmonischen Klängen. Letztere erweitern die Pupillen. Den Änderungen des Aufmerksamkeitszustandes folgt eine Änderung der Wirkung von Schallreizen. Es kommt zu einer Verkürzung der Pulsdauer, sobald die Aufmerksamkeit besonders auf den Reiz gerichtet ist. In gleicher Weise geschieht es durch Lust- und Unlustgefühle (MENTZ).

KIESOW stellte klar heraus, daß auch die Volumenpulskurve entscheidend durch kalte Finger und Hände verändert werde. Ferner zeigt der Füllungszustand der peripheren Gefäße einen tageszeitlichen Rhythmus. Dies beweist der Autor durch Versuche zu verschiedenen Tageszeiten. KIESOW beschreibt als erster die Entlastungsplethysmographie. SCHROEDER und KOTTMEYER halten sie auf Grund ihrer eigenen Versuche und Beobachtungen für einen großen Vorteil. Sie erkannten auch die Notwendigkeit, daß sich bei derartigen Untersuchungen Versuchsperson und Untersucher in getrennten Räumen befinden müssen, damit der Proband nicht durch den Untersucher abgelenkt oder gestört wird.

WUNDT stellt in seiner Gefühlstheorie drei Paare von einfachen Gefühlen fest: Lust - Unlust, Erregung und Beruhigung, Spannung und Lösung. Im Experiment lassen sich diese Gefühlsarten nicht isoliert erbringen (WEBER). Erregung und Beruhigung seien eng mit Lust- und Unlustgefühlen verbunden. Der Autor fand im Spannungszustand eine Verminderung des Armvolumens und eine Pulsverkleinerung. Nach seinen Erfahrungen ist es möglich, Spannungen durch Hypnose zu lösen. LEHMANN vertritt die Ansicht, daß ausschließlich der augenblickliche Bewußtseinszustand die körperlichen Veränderungen durch bestimmte psychische Verfassung beeinflusst. WEBER hingegen glaubt an unbewußt ablaufende Vorgänge, die zu Gefäßreaktionen führen. Nach KRETSCHMER kann wegen der komplexen Beschaffenheit der Gefühle keine eindeutige Zuordnung zu bestimmten vegetativen Funktionszuständen erfolgen. Die Reaktionen der einzelnen Menschen auf äußere Reize und Affekte seien sehr verschieden und von den betreffenden individuellen Konstitutionen des vegetativen Nervensystems abhängig. KÜPPERS, UHLENBRUCK, MATTHES und MALIKIOSIS registrierten nach affektiv wirksamen Reizen in dem untersuchten Hautareal stets eine Gefäßverengung mit Blutdruckerhöhung und Abnahme der Hauttemperatur.

Mit dem Wärmeleitmesser nach HENSEL fanden GOLENHOFEN und HILDEBRANDT nach geistiger Arbeit, sowie auch während verschiedener Angst- und Spannungszustände stets eine Zunahme der Muskeldurchblutung bei verminderter Hautdurchblutung. Nach den genannten Autoren kommen als Ursache für die veränderten Durchblutungsverhältnisse neben vasomotorischen Einflüssen auch stärkere Muskeltonussteigerung mit sekundärer Durchblutungserhöhung und Adrenalinausschüttung in Frage. Von ganz entscheidender Bedeutung ist das gegensätzliche Verhalten von Haut- und Muskeldurchblutung. Hieraus resultiert die Ungenauigkeit plethysmographischer Untersuchungen ganzer Körperteile, die Haut und Muskulatur enthalten.

Durch die Fingerplethysmographie wird dieser Fehler weitgehend ausgeschaltet.

WITTKOWER kommt das Verdienst zu, mit Hilfe des psychogalvanischen Reflexes bestimmte affektpsychologische Probleme erhellt zu haben. Besonders wirksame Worte sind solche, die ein Gefahrenmoment enthalten, triebbezüglich sind oder die Lebenslage der Versuchsperson angehen. Worte mit geringer Gefühlsbeteiligung bedingen andererseits auch starke galvanische Ausschläge, wie WITTKOWER bei zahlreichen Versuchen feststellte. So glaubt er, daß stärker reagiblen Personen mehr trieb- und eigenbezügliche Einfälle haben und bei allen die ichbezüglichen Einfälle überwiegen. Beim Vergleich der ichbezüglich mit den vorwiegend objektivbezüglich eingestellten Personen konnte er nachweisen, daß bei Ersteren die trieb-, wunsch- und eigenbezogenen Einfälle wesentlich überwiegen. Aus der Dauer der Latenzzeit bis zur Reaktion seien Rückschlüsse auf das Bewußtwerden der nach dem Reizwort auftretenden Einfälle möglich.

#### IV. Kreislaufreaktionen nach akustischen Reizen

Im Folgenden werden die Veränderungen des Kreislaufes und der Hautdurchblutung nach akustischen Reizen besprochen. Die Registrierung erfolgte durch die Plethysmographie.

LEHMANN kommt als Erstem das Verdienst zu, mit Hilfe der Plethysmographie eine echte Taubheit von einer hysterischen unterschieden zu haben. Einen Anstieg des Blutdruckes, besonders des systolischen Wertes stellten HELSMORTELL jr. und NYSSSEN nach starken Tonreizen fest. In ihren plethysmographischen Untersuchungen, bei denen sie Volumenänderungen der Hand registrierten, fanden sie nach starken Schalleindrücken eine Volumenabnahme. Diese war um so intensiver je mehr ein gesprochenes Wort inhaltlich verstanden wurde. Ihre Versuche wurden durch taktile Reize beeinträchtigt, die ebenfalls die gleichen Volumenänderungen bedingen. DOBRANSKI, TEUCHMANN und SZRENIAWSKA beobachteten eine Blutdrucksenkung nach Tönen, die sie mit dem Audiometer oder der Galtonpfeife erzeugten. LEHMANN und Mitarbeiter stellten während und nach Einwirkungen von Oktavband- und Industrie-geräuschen bei den meisten ihrer Probanden eine Verkleinerung der Blutdruckamplitude, des Volumenpulses und des Hautblutvolumens fest. Sie verzeichneten eine Zunahme des peripheren Widerstandes bei gleichzeitiger mehr oder minder starker Abnahme des Schlagvolumens. Daraus schlossen sie, daß dabei Veränderungen im Sinne eines erhöhten Sympathikustonus auftraten, die unabhängig von der Schallfrequenz und der Lärmempfindlichkeit der einzelnen Versuchspersonen seien. Erst Geräusche von mehr als 70 Phon ergaben eindeutige Kreislaufreaktionen.

KOTTMEYER verwendete die Fingerplethysmographie zum Nachweis der Volumenänderungen nach schwellennahen sensorischen und sensiblen Reizen. Durch seine Untersuchungen leistete er gleichzeitig einen Beitrag zum objektiven Nachweis einer Gehörs-, Geruchs- und Geschmackswahrnehmung. Er entwickelte den Kapselplethysmographen mit Capillarbandschreiber, einem Direktschreiber, und arbeitete diese Methode zu einer sehr empfindlichen aus, so daß es dem Autor gelang, Änderungen nach schwellennahen akustischen Reizen zu registrieren. Mit der Kapsel wurden nur Durchblutungen der Fingerkuppe erfaßt, an der vorwiegend die Hautdurchblutung zur Geltung

kommt (HENSEL), weil die geringe Gefäßversorgung von Sehnen und Knochen unberücksichtigt bleiben kann. Entscheidend ist, daß die Durchblutungsänderungen der Muskulatur nicht mit erfaßt werden. Sie zeigen gegenüber denen der Haut oft entgegengesetztes Verhalten (REIN, HENSEL und andere). Außerdem unterliegen die Hautgefäße wahrscheinlich weit mehr einer vegetativen Steuerung als die der Muskulatur, obgleich GOLENHOFEN und HILDEBRANDT auch eine Beeinflussung der Muskeldurchblutung durch psychische Reize nachweisen konnten. Bei seinen Volumenmessungen nach schwellennahen akustischen Hörreizen arbeitete KOTTMEYER mit Schwebungsklängen. Auf Sinustöne hin, besonders nach tiefen Frequenzen, kam es nur bei einigen Versuchspersonen zu kurzdauernden Volumenabnahmen. Nach drei oder vier Tönen ließen sich trotz Steigerung der Intensität keine Reaktionen mehr feststellen. Frequenzen bis zu 500 Hz lösen auch Tastempfindungen aus, so daß es bei den vorhandenen Volumenänderungen sehr fraglich ist, ob sie durch akustische Reize oder taktile Empfindungen erfolgen.

KOTTMEYER sieht in den Schwebungsklängen sicher definierte akustische Reize, die mit großer Zuverlässigkeit Gefäßreaktionen herbeiführen. Durch sie ist die affektive Wirkung auch nach zehn oder fünfzehn Reizen noch nicht erschöpft. Der Autor ermittelte mit Schwebungsklängen bei 61 Versuchspersonen die objektive Hörkurve. Diese lag um 5 - 10 dB über den subjektiven Reintonsschwellen. 95 % aller wirksamen überschwelligen Reize waren in ihrer Intensität innerhalb der Grenzen des sogenannten Normalbereiches. In 67 % erhielt der Autor auf Schwebungsklänge eine objektive Reizantwort in Form von plethysmographischen Reaktionen. Ferner kam er zu dem Ergebnis, daß die tiefen Klänge den Reflex bei geringerer Intensität als die hohen auslösten; am wenigsten wirksam waren die mittleren Frequenzen, was schwer zu erklären sei, da im Bereich von 2000 Hz die größte Empfindlichkeit des menschlichen Ohres liegt.

Beim Mischen von zwei Sinustönen zu Schwebungsklängen dürfen erstere nicht mehr als 10 - 20 Hz auseinanderliegen, damit keine Kombinationstöne auftreten. Werden die Primärtöne durch Tongeneratoren erzeugt, hört man neben dem Zwischenton, der Träger der Schwebungen ist, etwas leiser oft auch diese (zit. n. KOTTMEYER). Der Zwischenton nach STUMPF, der bei Schwebungsklängen auftritt, ist gleichzeitig Träger der auftretenden Schwebungen. Klingen zwei einfache Töne von annähernd gleicher Frequenz nahezu gleichzeitig, so nimmt das menschliche Ohr nicht jeden Ton einzeln wahr, sondern einen einzigen fluktuierenden Ton, den sogenannten Zwischenton. Beim Zusammenklingen zweier oder mehrerer reiner Töne kommt es zu sekundären Klangerscheinungen oder Kombinationstönen (v. HELMHOLTZ). Nach ihm wird die Dissonanz eines Klanges durch den Gehalt an Schwebungen bestimmt. Dissonanzen bewirkten nach früheren Ergebnissen von MOSSO, WEBER und KIESÖW eine Volumenabnahme des Armes, weil es sich um unlustbetonte Reize handelt. Sie führen auch regelmäßig an der Fingerkuppe zur Volumenabnahme, die plethysmographisch erfaßt wurde (KOTTMEYER). KIESÖW beobachtete, daß schrille Dissonanzen zu einer Verengung der Gefäße führten. Änderungen der Aufmerksamkeit hielt er für die mögliche Ursache dieser Reaktion. Nach KOTTMEYER aber kann diese nicht allein ursächlich für die Durchblutungsänderung in Betracht kommen, weil dann Sinustöne den gleichen Effekt wie Klänge und Geräusche haben müßten. Dies trifft aber nicht zu. Mit der Ansicht von KIESÖW, Gefühle und Affekte lösten die verschiedenen vegetativen Reaktionen aus, stimmt (KOTTMEYER) auf Grund seiner Untersuchungen überein. Körperliche Begleiterscheinungen können nur dann entstehen, wenn der Affekt bis zum Bewußtsein vordringt (LEHMANN). Von dem Grad der Affektivität eines Reizes hängt besonders die Intensität seiner Wirkung ab (KOTTMEYER). Für die ungenügende Gefäßreaktion nach Sinustönen im Vergleich zu Schwebungsklängen oder anderen Schallqualitäten macht der Autor die Tatsache verantwortlich,

daß sinusförmige akustische Eindrücke in der Natur nicht vorkommen, sondern vielmehr immer Klänge und Geräusche. Ferner hält er die Erregung weniger Nerven Elemente im Cortischen Organ und im Hörzentrum durch Sinustöne im Vergleich zu komplexen Schalleindrücken für sehr wahrscheinlich. Demzufolge kann die Wirkung von hier aus über den Thalamus bis zum Bewußtwerden nur geringer sein. Diese Theorie findet ihre Bestätigung u.a. auch in dem Ausbleiben der Gefäßreaktion nach akustischen Reizen bei Vertäubung des Gegenohres und durch das Ausbleiben der Volumenpulsänderungen im Schlaf. Es ist demnach wohl wichtig, daß ein Reiz bis zum Bewußtsein durchdringt, um vasomotorisch wirksam werden zu können.

KOTTMEYER sieht mehrere Faktoren wie bewußte und unbewußte Affektbildung, Änderung der Aufmerksamkeitsspannung und deutliches Bewußtwerden des Reizes für das Auslösen eines Reflexgeschehens als bestimmend und entscheidend an. Ferner ist der Grad der Neuheit und Ungewohntheit für die affektive Wirksamkeit eines Sinnesreizes wichtig, wie schon KRETSCHMER betonte und in seinen Untersuchungen zeigte. Deshalb wählte KOTTMEYER die Reihenfolge der Schwebungsklänge so, daß sie frequenzmäßig möglichst weit auseinanderlagen, wodurch auch die Reflexermüdung und die progressive Indifferenz gegenüber dem Reiz gemindert werden sollten. DARROW und Mitarbeiter vertraten die Ansicht, durch Reizwiederholungen erlangen subcorticale Zentren automatisch die Kontrolle über die Reaktionen. KOTTMEYER kann demnach seinen Untersuchungen nicht zustimmen.

Die Ansicht vieler Untersucher, lust- und unlustbetonte Reize würden verschiedene Gefäßreaktionen hervorrufen, ist wohl z.T. auf ihre ungenauen Messungen der Volumenänderungen zurückzuführen. Wie schon erwähnt, besteht nach GOLENHOFEN und HILDEBRANDT ein gegensätzliches Verhalten von Haut- und Muskeldurchblutung. Da bei der Plethysmographie Haut- und Muskeldurchblutung gleichzeitig erfaßt werden, lassen sich

auf diese Weise die abweichenden Ergebnisse von WUNDT, WEBER und anderen erklären. Sie fanden wahrscheinlich immer dann eine Volumenzunahme, wenn die Zunahme der Muskel-durchblutung größer als die gleichzeitige Verminderung der Hautdurchblutung war. KOTTMEYER konnte nie eine Volumenzunahme an der Fingerkuppe nach akustischen Reizen nachweisen, gleichgültig ob nach Geräuschen, Klängen oder Sinustönen.

Auf Grund seiner Untersuchungen und Ergebnisse stellte er eine klare Überlegenheit der plethysmographischen Methode ohne jegliche Reflexbahnung gegenüber der Hautwiderstandsmessung fest. Durch die Anwendung der Entlastungsplethysmographie (SCHROEDER) ist die Fingerplethysmographie eine sehr empfindliche, leicht zu handhabende und zuverlässige Methode. SCHROEDER registrierte durch einen Entlastungsdruck von 25 mm Hg vorwiegend die Durchblutungsänderungen im Bereiche der Capillaren und Venolen.

Die Besprechung der Versuche und Erörterung der Ergebnisse, zu denen KOTTMEYER nach Geschmacks-, Geruchs-, Wort- und Sehreizen kam, sollen im Rahmen dieser Arbeit nicht erfolgen. Auch tiefe Atemzüge können außer den angeführten Reizen sehr leicht Vasomotorenreaktionen auslösen. GOETZ u. a. zeigten, daß jeder tiefe Atemzug von einer aktiv reflektorisch ausgelösten Vasokonstriktion begleitet wird, die sich besonders gut im Fingerplethysmogramm nachweisen läßt.

#### V. Methoden zur Bestimmung der Volumen- und Durchblutungsänderungen in der Haut

Die thermischen Verfahren zur Messung der Hautdurchblutung beruhen darauf, daß sich der Wärmetransport in der Haut mit dem Zeitvolumen der Durchblutung ändert. Dabei kann der verschiedene und oft wechselnde Blutgehalt der Haut unberücksichtigt bleiben.

HENSEL entwickelte eine Methode, die auf dem Prinzip des geheizten Thermoelementes beruht und mit der die Wärmeleitzahl der Haut in Absolutwerten bestimmt wird. Sie ist unabhängig von Körper-, Haut- und Raumtemperatur und unterliegt der verschiedenen Ausgangsblutfülle der Haut. Mit der Wärmeleitsonde nach HENSEL und RUEF kann die örtliche Wärmeleitzahl des Muskels, die von dem Zeitvolumen der Durchblutung abhängig ist, gemessen werden. BURTON propagiert die neuen Isotopenverfahren zur Messung der Durchblutung vorwiegend in der Peripherie. Damit wird gleichzeitig auch die Durchlässigkeit der Blut- Gewebsschranke bestimmt. Mit der Thermostromuhr nach REIN lassen sich ebenfalls Durchblutungsänderungen feststellen.

Zu den ersten plethysmographischen Messungen, die am Vorderarm durchgeführt wurden, gehört die Methode von BUISSON 1863. MOSSO wendete sie viel an. LEHMANN konnte sie verbessern; ebenso fügten BRODDIE und ZWALUWENBURG durch den vorübergehenden Venenverschluß eine Neuerung hinzu. Dieses Verfahren heißt deshalb Venenverschlußplethysmographie. Schwierigkeiten bereitet stets das völlige Abdichten zwischen Unterarm und Plethysmographen. Über ein nicht elastisches Schlauchsystem mit einer MAYERschen Kapsel erfolgt die Registrierung auf einem berußten Papierstreifen durch einen Wasserschwimmer von MÜLLER. LEWIS und GRANT, GRANT und PEARSON benutzten die Venenverschlußplethysmographie für quantitative Messungen. Um etwas über die Haut- und Muskeldurchblutung aussagen zu können, brachten BARCROFT und SWAN je einen Plethysmographen an der Hand der einen Körperseite und am Unterarm der anderen an. Das gleiche führten BURCH und TURNER an der Fingerspitze durch. WHITNEY maß am Vorderarm die Volumenänderungen mit einer schmalen quecksilberhaltigen Manschette. Eine Umfangsvergrößerung des Armes führte zur Verlagerung des Quecksilberfadens. Dabei nahm der Querschnitt ab und der Widerstand zu. Diesen registrierte er und konnte daraus Rückschlüsse auf die Durchblutungsverhältnisse ziehen.

Bei der lichtelektrischen Plethysmographie wird diejenige Menge des Lichtes mit einer Photozelle bestimmt, die die Haut durchdringt. Dabei muß mit großer Papiergeschwindigkeit geschrieben und ein trägheitsarmes, jedoch sehr empfindliches Registriersystem mit Verstärker verwendet werden, um Volumenpulse genau darzustellen (MATTHES). Der Nachteil besteht in einer sehr ungenauen Aufzeichnung der langsamen Volumenschwankungen. HERTZMANN mißt mit dieser etwas modifizierten Methode die Hautdurchblutung in  $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{min}$ . Das Verhältnis der Schwankungen des Gesamtvolumens zu den gleichzeitigen Änderungen der Volumenamplitude zeigt, ob eine Volumenänderung vorwiegend durch Umstellung im arteriellen Abschnitt oder durch einen Wechsel der Blutfülle im Venen- oder Kapillarbereich zustandekommt. KRAMER bestimmte die Sauerstoffsättigung des Blutes, indem er die Haut mit ultrarotem Licht, das sich am besten zur Messung der Volumenschwankungen eignete, durchleuchtete. Daraus schloß er auf die Durchblutungsänderungen. SCHROEDER verwendete, wie schon erwähnt, die Entlastungsplethysmographie bei einem Druck von 25 mm Hg.

Die periphere Volumenpulsschreibung hat besonders als diagnostische Methode bei Durchblutungsstörungen große Bedeutung. MATTHES führte die lichtelektrische Pulsschreibung durch. Eine andere Methode stellt die Oscillometrie dar. BRECHT- und BOUKE arbeiteten mit der Infratonoscillographie. Bei der Rheographie, die ausführlich zu erörtern ist, werden Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit im menschlichen Körper, die hauptsächlich durch den Kreislauf bedingt sind, registriert. Nach den Erfahrungen von KOTTMAYER lassen sich Volumenpulse auch mittels der Selenzelle des Elongationsgebers nach SCHWARZER über einen Cardiostaten aufzeichnen. Der genannte Autor untersuchte den größten Teil seiner Probanden mit einem von ihm entwickelten Kapselplethysmographen nach Wirkung schwellennaher sensorischer und sensibler Reize auf das Volumen der Fingerkuppe.

## VI. Die Rheographie und ihre Anwendungsmöglichkeiten

Mittels der Rheographie kann man durch Messung der Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit an verschiedenen Körperabschnitten einen Einblick in die Durchblutungsverhältnisse bekommen. KOEPPEN, HOLZER und POLZER zeichneten die verschiedenen Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit im Körper auf. Ihre Versuche ergaben, daß die Verwendung von Gleichstrom wegen des Übergangswiderstandes der Haut Schwierigkeiten bereitete. Im Jahre 1945 veröffentlichten HOLZER, POLZER und MARKO eine Anordnung, die auf Wechselstrom beruhte.

Die in dem Rheographen vorhandene Meßanordnung besteht aus einem Generator, einer Meßbrücke mit nachgeschalteter Verstärkeranlage und einer Demodulations-einrichtung mit Abstimmkontrolle der Meßbrücke. Der Generator speist die Meßbrücke mit Wechselspannung, deren Frequenz 20 000 bis 30 000 Hz beträgt. Bei dieser Schwingungszahl wird der Übergangswiderstand der Haut auf kapazitivem Wege überbrückt. Hinzu kommt, daß der Patient bei der angewendeten Stromstärke von 10 mA nicht mehr den Durchgang des elektrischen Stromes durch den Körper spürt. Jeder zu untersuchende Körperabschnitt eines Patienten muß durch zwei Elektroden in die Meßbrücke eingeschaltet werden. So bildet der Meßbereich des Probanden, der durch die Anlage der beiden Elektroden bestimmt ist, einen der vier Zweige der Wheatstoneschen Brücke. Den Vergleichszweig bilden eine variable Kapazität und ein variabler Ohmscher Widerstand. Durch Abgleich des Vergleichszweiges können sowohl der Ohmsche Widerstand als auch die Kapazität bestimmt werden (POLZER und SCHUHFRIED). Die Brücke ist dann abgeglichen, wenn man den Vergleichszweig auf gleiche Kapazität und gleichen Ohmschen Widerstand wie den Patientenzweig einstellt. Vor der Aufzeichnung des Rheogramms erfolgt der Brückenabgleich. Hierbei werden mit dem variablen Widerstand und der einstellbaren Kapazität des Vergleichszweiges die elektrischen Eigenschaften im Patientenkreis nachgebildet. Widerstand und Kapazität sind dann

gleich, werman der Brückendiagonale keine oder möglichst wenig Spannung auftritt.

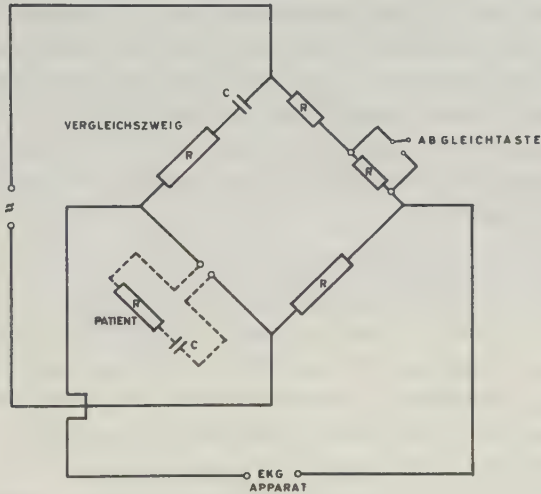


Abb. 1

WHEATSTONEsche Brücke des Rheographen  
ROhmscher Widerstand, C Kapazität

Das zeigt ein magisches Auge dadurch an, daß sein leuchtender Bereich sehr klein wird. Hierbei ist die Abgleich-taste gedrückt. Wird sie nach durchgeführter Abstimmung losgelassen, erhöht sich die von der Brücke abgegebene Meß-spannung; die leuchtende Fläche des magischen Auges ver-größert sich entsprechend. Die im Rhythmus der Pulswelle auftretenden Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit sind im allgemeinen gering, etwa in der Größenordnung von 1 ‰. Es ist deshalb erforderlich, die an der Brücke ge-wonnene Ausgangsspannung noch zusätzlich zu verstärken. Dazu findet ein auf Resonanz abgestimmter Verstärker Ver-wendung, der die störende Netzfrequenz von 50 Hz so gut wie

gar nicht überträgt. Die verstärkte Meßwechselspannung, die im Rhythmus der Leitfähigkeitsschwankungen im Meßbereich pulsiert, wird einem Gleichrichter zugeführt und demoduliert. Es entsteht so eine pulsierende Gleichspannung, deren Pulsation wiederum den Leitfähigkeitsschwankungen im Meßbereich proportional ist. Zur Aufzeichnung dieser pulsierenden Spannung dient ein EKG-Apparat. Zum Anschluß des Rheographen an das EKG-Gerät wird eine Kapazitätskopplung verwendet. Sie hat die Aufgabe, nur die Pulsationen, nicht aber die bei der Gleichrichtung mit entstehende Gleichspannung auf den EKG-Schreiber zu übertragen.

Die Stromzuführung vom Rheographen zum Patienten erfolgt mit einem Kabel, das an den Patienten Erdpotential bringt (roter Stecker). Es ist zur Ausschaltung von Wechselstromstörungen notwendig. Ein anderer Leiter hat die Aufgabe, die Meßwechselspannung zuzuführen. Die Kabel sind selbstverständlich abgeschirmt und mit Elektroden versehen, deren Form und Größe sich nach dem zu untersuchenden Meßbereich bzw. nach den Anlegestellen richten. Als Material hat sich verzinn-tes Blei bewährt, das der Körperform jeweils gut angepaßt werden kann, ohne die Blutzirkulation zu stören. Ein guter Kontakt zwischen Elektroden und Haut des Patienten ermöglicht eine störungsfreie Aufzeichnung des Rheogrammes. Zur Abnahme des Längsrheogrammes werden ringförmige Elektroden angelegt. Die proximal angelegte Elektrode ist die Erdleitung. An Armen und Beinen wird eine Elektrodenbreite von 2 cm, an Fingern und Zehen von 1 cm als günstig empfohlen.

Das Rheogramm erfaßt die Änderungen der Leitfähigkeit und damit der Füllungsschwankungen aller im Rhythmus der Herzaktion pulsierenden Gefäße, sofern sie im Meßbereich liegen. Das periphere Längsrheogramm ermöglicht das abschnittsweise Messen am Oberarm, Unterarm, an der Hand und am Finger. Das Querrheogramm hat die Aufgabe, das Vorhandensein einer Pulsation an einer definierten Stelle festzustellen. Hierzu werden in gleicher Höhe an dem zu untersuchenden Abschnitt

zwei Elektroden befestigt. Der erfaßte Meßbereich ist klein, die Amplitude des Rheogramms daher auch sehr gering.

### VII. Allgemeiner Kurvenverlauf

Im Rheogramm können nur pulsatorische Volumenschwankungen aufgezeichnet werden. Das Durchflußvolumen einer Extremität z. B. ist damit nicht zu bestimmen. Bei der Rheographie handelt es sich um eine Art Volumenpulsregistrierung. Die rheographische Kurve normaler Gefäße gleicht ziemlich genau einer Volumenpulskurve. Erstere ist gekennzeichnet durch einen steilen systolischen Anstieg mit exakt winkelliger Auslenkung aus der Basislinie, durch einen schmalen Kurven-gipfel und eine im absteigenden Kurventeil deutlich erkennbare dikrote Nachwelle.

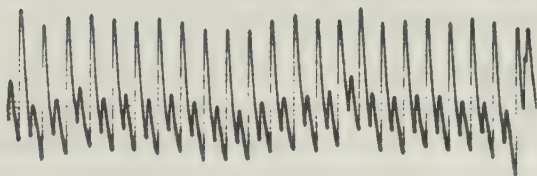


Abb. 2  
Normales Finger-Rheogramm

Nach dieser sinkt die rheographische Kurve mehr oder weniger langsam zur Basislinie ab. Sowohl die Amplitude als auch das Flächenintegral sind jeweils bei Veränderungen z. B. des Schlagvolumens, der Herzfrequenz, des Blutdruckes, ebenso auch bei Veränderungen am Gefäßsystem in typischer Weise verschieden. Veränderungen des Schlagvolumens bzw. der Herzfrequenz bei weitgehend gleichbleibendem Minutenvolumen zeigen sich besonders an der Kurvenamplitude, nicht aber an der Kurvenform. Dieses muß bei den Pharmaka berücksichtigt

werden, die sowohl die Durchblutung als auch die Herzfrequenz ändern. Der Blutdruck hat eine entscheidende Wirkung auf das Rheogramm. Durch ihn wird zuerst die Kurvenamplitude und nur bei besonders niedrigen Werten die Kurvenform verändert. Nach unveröffentlichten Untersuchungen von KOTTMEYER ist noch völlig unklar, welchen Einfluß Veränderungen des Elektrodendruckes in verschiedenen Abschnitten der Kreislaufperipherie auf die Amplitude haben. Aus einer Amplitudenverkleinerung kann auf eine geringere Dehnung der Arterien durch die Pulswelle geschlossen werden, wie z. B. im Kollaps. Eine Lumenverkleinerung der Gefäße ist beim niedrigen Blutdruckwert und bei reflektorischer Vasokonstriktion, wie sie beispielsweise nach akustischen Reizen erfolgt, vorhanden. POLZER und SCHUHFRIED beobachteten ein Absinken der Kurve unter die Basislinie nach Extrasystolen, die von einer kompensatorischen Pause gefolgt sind. Dabei soll der venöse Rückfluß gesteigert und weniger Blut im Meßbereich sein. Zum Verständnis der Kurven ist ihre Einteilung und Zuordnung zu bestimmten Kreislaufänderungen wichtig.

Die TRAUBE - HERING - MAYER - Wellen I. Ordnung gehen synchron mit der Herzfrequenz. Wellen II. Ordnung sind von der Atmung abhängig. Nach MATTHES gehen ihnen Blutdruckschwankungen voraus, wodurch Änderung des Blutgehaltes im arteriellen Gefäßanteil und Schwankungen des Bluteinstromes ins Kapillargebiet hervorgerufen werden. Wellen III. Ordnung stellen Volumenschwankungen dar, die eine kleinere Frequenz als die der Atmung haben. Bei ihnen unterscheidet man Schwankungen vom schnellen, langsamen und sehr langsamen Typ. Schnelle Wellen III. Ordnung haben eine Frequenz von 2 - 7 pro Minute, langsame Wellen III. Ordnung eine von 0,2 - 2 pro Minute, sehr langsame Wellen zeigen eine Periodendauer von 10 - 20 Minuten, d. h. eine Frequenz in 10 - 20 Minuten. Sogenannte Reizwellen nach LATSCHENBERGER und DEAHA sind von kurzer Dauer und reflektorisch bedingt. Sie werden aller Wahrscheinlichkeit nach durch unbewußte Affekte oder äußere Reize verursacht, was sich auch unter den exaktesten Versuchs-

bedingungen nicht vermeiden läßt (KOTTMEYER). Diese Reizwellen zeigen keine Abhängigkeit von der Atmung, gleichen aber der kurzdauernden Volumenabnahme, wie sie durch einen tiefen Atemzug hervorgerufen werden kann.

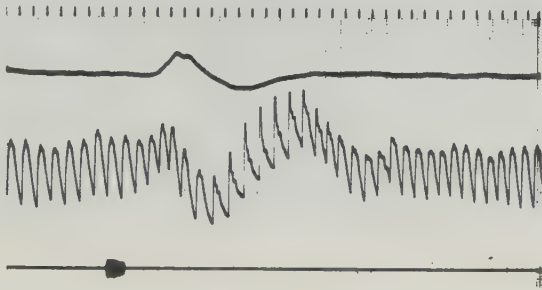


Abb. 3

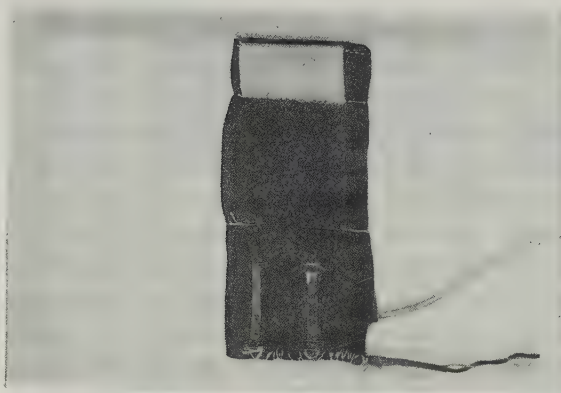
Kurvenverlauf bei tiefem Atemzug  
Volumenpulskurve (untere Kurve)  
Registrierung der Atmung (obere Kurve)

Kurz nach Inspirationsbeginn steigt die Pulsfrequenz an und fällt am Anfang der Expiration wieder ab. Wird die Atmung mitregistriert, so können atemreflektorische Volumenänderungen als mögliche Reizantwort ausgeschlossen werden (KOTTMEYER). Wie schon dargestellt, beeinflussen Blutdruckänderungen die Volumenpulskurve. Der Blutdruck steigt erst auf der Höhe der Inspirationsstellung bei Expirationsbeginn an, um am Ende der Expiration wieder abzufallen. Expiratorisch wird also ein Ansteigen, inspiratorisch ein Absinken des Blutdruckwertes zu verzeichnen sein. Das Fingervolumen folgt, abgesehen von einer langsameren Spontanschwankung den Blutdruckwellen anscheinend passiv, indem jedem Blutdruckanstieg eine Volumenzunahme entspricht (MATTHES).

## G Experimenteller Teil

### I. Versuchsaufbau und Bedingungen zur Registrierung von Volumenpulsänderungen nach schwelennahen akustischen Reizen

Bei den eigenen Versuchen wurden die Volumenpulsänderungen an normal- und schwerhörigen Patienten nach schwelennahen akustischen Reizen registriert. Proband und Untersucher mit den Apparaturen befanden sich getrennt in je einer Kamerasilens. Als akustische Reize dienten wegen ihrer sicheren affektiven Wirkung und Auslösung einer Reaktion (KOTTMEYER) Schwebungsklänge. Mit fünf verschiedenen Frequenzen von 250, 1000, 2000, 4000 und 8000 Hz erfolgten die Untersuchungen. Zwei Tongeneratoren erzeugten die Primärtöne, die eine Mischstufe zu Schwebungsklängen vereinigte. Ein geeichter Dezibelabschwächer ermöglichte die Intensitäten zu variieren. Durch eine Drucktaste konnten die Klänge in zeitlichen Abständen eingeschaltet werden. Der Patient im Nebenraum trug einen Kopfhörer. Die Volumenänderungen nach akustischen Reizen wurden vom linken Mittelfinger mit einer Elektrodenmanschette, die durch ein Kabel mit dem Rheographen im Raum des Untersuchers verbunden war, abgenommen. Ein EKG-Dreifachschreiber registrierte die Volumenpulse. Die Atemexkursionen, die ein Elongationsgeber nach SCHWARZER übertrug, wurden ebenso wie Reizbeginn, Dauer und Ende mitgeschrieben. Die Elektrodenmanschetten entwickelten KOTTMEYER und WANDEL. Sie ähneln einer Blutdruckmanschette, auf deren Innenseite zwei streifenförmige Elektroden befestigt sind. Ihr aufblasbarer Teil ist aus der Manschette eines Trachealtubus zusammengeklebt. Verschiedene Größen ermöglichten eine Auswahl für Erwachsene und Kinder. Verschlössen wurden die Manschetten mittels eines Klettverschlusses. Um Wechselstromstörungen zu vermeiden, sind alle Kabel abgeschirmt. Zu den Versuchsbedingungen gehören außer den technischen Voraussetzungen ruhiges Verhalten und Entspannung der Patienten.



#### Elektrodenmanschette

Bei Erwachsenen gibt es in dieser Beziehung keine Schwierigkeiten. Eine erforderliche Sedierung kann auch medikamentös herbeigeführt werden. Hierzu diente die Verabreichung von NOLUDAR<sup>(R)</sup> und CYRPON<sup>(R)</sup>. Die Patienten waren über den Hergang des Versuches unterrichtet. - Bei Kindern ist eine Untersuchung erst möglich, wenn der Untersucher ihr Vertrauen gewonnen hat; bei ängstlichen, gespannten und unruhigen Kindern war auch dann nicht immer ein sicher verwertbares Ergebnis zu erhalten. Nach der ersten erfolgreichen Untersuchung gelang es stets ohne Schwierigkeiten, die Kinder erneut unter CYRPON<sup>(R)</sup> medikation den Versuchsbedingungen zu unterziehen.

Meistens fanden die objektiven Hörprüfungen am Abend zwischen 18 und 21 Uhr oder mittags zwischen 13 und 15 Uhr statt. Während dieser Zeiten war es in der Klinik besonders ruhig. Eine Kamera silens ist Voraussetzung für das Gelingen der Untersuchungen. Um optische Eindrücke fernzuhalten, blieb der Raum dunkel. Bei ängstlichen Kindern wurde jedoch eine Lampe eingeschaltet. Unter diesen Bedingungen gelang die Prüfung der Volumenpulsänderungen fast immer. Sobald die Patienten merkten, daß ihnen keine Schmerzen zugefügt wurden, verhielten sie sich ruhig.

Bei der Untersuchung von schwerhörigen und geistig gestörten Kindern ergaben sich neue Probleme. Nur selten gelang bei ihnen gleich der erste Versuch. Meistens war dieser auch dann nur möglich, wenn eine zweite ihnen schon bekannte Person in demselben Raum saß. Über eine ausreichende medikamentöse Ruhigstellung solcher Kinder ist an anderer Stelle berichtet. Es muß aber auch erwähnt werden, daß manche schwerhörige Kinder furchtlos und bereitwillig zur Untersuchung von der Station mitkamen, vielleicht in der Freude auf Abwechslung durch Spiel oder individuelle Beschäftigung mit ihnen. Diese Probanden waren dann am besten geeignet, anderen ängstlichen und mißtrauischen Kindern ihre Furcht zu nehmen, was sich der Untersucher oft zunutze machte. Fest steht, daß der erste Eindruck den weiteren Verlauf der Untersuchung ganz entscheidend beeinflusste. Zeit und Geduld durch Demonstrieren der Vorgänge an sich selbst schafften doch schließlich die Voraussetzungen, um die gewünschte objektive Audiometrie durchzuführen. Bequeme Lagerung der Probanden auf einer Liege und Polsterung des linken Armes in der Weise, daß die betreffende Hand das eine Ende des Polsters locker umfaßte, galten als unerläßliche Voraussetzungen für die Ableitung der Volumenpulscurven. Sie erfolgte in der Regel am Mittelfinger der linken Hand. Hin und wieder bewegten die Patienten ihre Finger. Dadurch entstanden charakteristische Veränderungen der Volumenpulscurve, die aber keinen Anlaß zur Verwechslung mit Gefäßreaktionen gaben. Für stärkere Atemschwankungen hingegen traf dies nicht zu. Sie zeigten ähnliche Einflüsse wie akustische Reize auf die Volumenpulscurve. Aus diesem Grunde wurde die Atmung zusätzlich registriert. Andererseits können respiratorische Volumenschwankungen so stark sein, daß eine Auswertung der Kurve unmöglich ist. Gewöhnlich treten sie im ersten Versuch auf und nehmen bei folgenden Untersuchungen unter medikamentöser Sedierung ab.

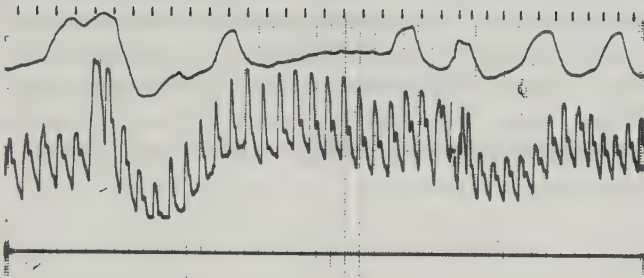


Abb. 5

Starke respiratorisch bedingte Volumenschwankungen  
Vp. Nr. 9. 23 J. 1000 Hz 15 dB

## II. Versuchsablauf

Die eigenen Untersuchungen wurden in der Zeit von November 1962 bis Juni 1963 an Patienten aus dem Krankengut der Universitäts-Hals-, Nasen-Ohrenklinik Marburg/Lahn durchgeführt. Bei jedem Patienten wurde zuerst die Reinton-schwellenkurve des rechten oder linken Ohres audiometrisch bestimmt. Auf das betreffende Ohr erfolgte dann auch die Übertragung der Schwebungsklänge. Bei einigen normalhörigen Kleinkindern ergab die Spielaudiometrie erst einigermaßen zuverlässige Werte. Mit dem ATLAS-Audiometer wurde die Reintonschwellenkurve bestimmt.

Das Anlegen der Elektrodenmanschette erfolgte nach Reinigung des Fingers mit einem Alkohol-Äther-Gemisch. So ließen sich eher Kurzschlüsse durch Schweiß vermeiden. Die Elektroden waren dünn mit Elektrodengelee bestrichen, um eine gute Leitfähigkeit zu bewirken. Die Konstruktion der Elektrodenmanschette gewährleistete ein gutes Anliegen am Finger. KOTTMAYER weist in seinen Versuchen eine größere Empfindlichkeit durch die Entlastungsplethysmographie nach. Dabei wird die Wandspannung der Arteriolen durch einen Druck von 40 mm Hg aufgehoben. An den Arteriolen kommt es nach

akustischen Reizen zu Gefäßreaktionen. Bei den eigenen Versuchen wurde ebenfalls ein Entlastungsdruck von 40 mm Hg benutzt. Ob dieser bei der rheographischen Volumenpuls-schreibung den gleichen Effekt wie bei der Plethysmographie von KOTTMEYER hat, kann auf Grund der eigenen Untersuchungen nicht entschieden werden. Sicher wird jedoch die arterielle Blutzufuhr nicht eingeschränkt.

Der Kopfhörer mußte dem Kopf der Versuchsperson gut anliegen, damit erstens die gegebenen Intensitäten das Ohr erreichten und zweitens ein zusätzlicher Schallschutz gegenüber äußeren akustischen Reizen garantiert war. Nach diesen Vorbereitungen konnte die Volumenpulsschreibung erfolgen. Die Amplitudeneinstellung wurde möglichst groß gewählt. Die Reizdauer mit Schwebungsklängen betrug durchschnittlich 12 - 20 sec, das reizfreie Intervall mindestens 50 sec. Dadurch sollte keine abgeschwächte Reflexbeantwortung infolge Affektgewöhnung oder Minderung der Neuheit des akustischen Reizes zustande kommen. Die "Prüfintensität" wurde der Reintonschwellenkurve angepaßt. Sie lag über der subjektiven Hörschwelle. Um eine möglichst große Differenz zwischen den vorausgehenden und folgenden Frequenzen zu erhalten, mußten diese in folgender Weise nacheinander eingestellt werden: 4 000, 250, 2 000, 8 000 und 1 000 Hz. Durch Kontaktschluß wurde der Schallreiz auf den Kopfhörer des Probanden übertragen. Gleichzeitig erfolgte bei schon laufender Volumenpulsschreibung die Reizmarkierung. Erst bei ruhigem Kurvenverlauf erhielt der Proband den Schallreiz. Änderungen der Volumenpulskurve lassen sich dann besser und sicherer auswerten. Waren alle Frequenzen bei den gewählten Intensitäten durchgeprüft, erfolgte ein zweiter Durchgang, bei dem die Intensitäten, die zu keiner Reaktion geführt hatten, erhöht wurden. Höchstens viermal prüfte der Untersucher einen Schallreiz mit steigender Intensität auf seine Reaktion hin. Dieses geschah aber nicht nacheinander, sondern im Wechsel mit anderen Frequenzen aus den oben schon angeführten Gründen. Der gesamte Versuch dauerte

niemals länger als 35 - 40 Minuten. Jeder Proband kam an zwei verschiedenen Tagen möglichst zu der gleichen Zeit zur Untersuchung. Vor der zweiten Untersuchung erfolgte die Sedierung mit CYRPON<sup>(R)</sup> oder NOLUDAR<sup>(R)</sup>.

### III. Psychopharmaka und ihre allgemeinen Wirkungen

Zu den Psychopharmaka gehören Neuroleptica, Transquillizer, Anti depressiva und Phantastika. Neuroleptica sind stark wirksame Medikamente. Ihr unmittelbarer Angriffspunkt ist das tectoreticuläre System. Sie beeinflussen drei Funktionen dieses Systems (H. HOFF): 1. Die Impulse vom tectoreticulären System zum Zwischenhirn werden blockiert; dadurch kommt es zur Tonusminderung der Muskulatur und zur Herabsetzung der Haltungs- und Stellreflexe, was zu einer Schlafhaltung führt. 2. Die Aufnahme von Außeneindrücken und Impulsen aus der Tiefe des Gehirns, welche sonst über das tectoreticuläre System dem Cortex zugeleitet werden, wird blockiert. 3. Es unterbleiben die Regulationen höherer Ordnung. Die trophotropen Reaktionen treten ähnlich wie beim natürlichen Schlaf in den Vordergrund. Dadurch kommt es zu vegetativen Nebenerscheinungen und vor allem zu einer Unterbindung der Gegenregulationen. Bei kurmäßiger Anwendung der Neuroleptica geht die Wirkung in mehreren Stufen vor sich. In der initialen Dämpfungsphase steht die schlafmachende Wirkung im Vordergrund. Dann folgt die Turbulenzphase mit Unruhe und ausgeprägter Stimmungs labilität. In der dritten Phase stehen Reizerscheinungen des extrapyramidalen Systems mit Ausbildung des Pseudoparkinsonsyndroms im Vordergrund. Schließlich stellt sich die eigentliche therapeutisch erwünschte zweite Dämpfungsphase ein; die schlafmachende Wirkung ist inzwischen verschwunden. Bei Überdosierung kann es in der fünften Phase noch zur Bewußtseinstörung und zum Coma kommen. Auf die Psyche wirken die Neuroleptica, indem sie die aus der Tiefe des Gehirns und die von der Außenwelt stammenden Reize abschirmen und abschwächen.

Die Transquillizer, unter denen man Substanzen wie CYRPO<sup>(R)</sup>, MILTOWN<sup>(R)</sup>, LIBRIUM<sup>(R)</sup> mit Soforteffekt und solche wie COVATIX<sup>(R)</sup>, ATARAX<sup>(R)</sup>, OBLIVON<sup>(R)</sup>, SUAVITIL ohne Soforteffekt unterscheidet, sind nicht so stark wirksam wie Neuroleptica. Sie haben auch geringere Nebeneffekte. Auf den Muskeltonus und die zentrale Erregungsbildung wirken sie dämpfend. Man verwendet Transquillizer im allgemeinen heute an Stelle von Beruhigungsmitteln.

Die Antidepressiva vom Typ des TOFRANILS<sup>(R)</sup>, einem Imipraminkörper, vermögen die Beharrungstendenz der vegetativen, emotionellen und motorischen Einstellung z. B. bei endogenen Depressionen zu durchbrechen (H. HOFF).

Die Phantastica sind schon länger bekannt. Bisher wurden sie vergeblich zur Erzeugung von Modellpsychosen angewendet (M. BLEULER).

NOLUDAR<sup>(R)</sup> ist kein Psychopharmakon. Das Medikament gehört in die Reihe der dialkylierten Piperidone. Es hat eine sedative Wirkung.

#### IV. Die Pharmakologie von NOLUDAR

Chemisch ist NOLUDAR<sup>(R)</sup> (ROCHE) das 2,4 - Dioxo - 3,3 diaethyl - 5 - methylpiperidin (Methypylon) mit folgender Strukturformel:

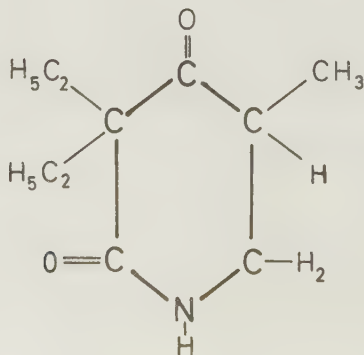


Abb. 6  
Strukturformel der Verbindung  
2,4-Dioxo-3,3-diaethyl-5-methylpiperidin

Nach Angaben der Herstellerfirma ist NOLUDAR<sup>(R)</sup> ein Einschlaf- und Durchschlafmittel. Gleichzeitig kann es als Tagessedativum bei leichteren und mittleren Unruhezuständen reaktiver Art mit Erfolg gegeben werden. Als Einschlaf-dosis wird eine Tablette von 200 mg, bei Durchschlafstörungen 1 - 2 Tabletten der gleichen Stärke empfohlen. Die Patienten empfinden bis zum Einschlafen zunehmend wohltuende Müdigkeit; dabei haben die subjektiven Empfindungen angenehmen Charakter. Beim Erwachen soll keine Benommenheit bestehen. Am Tage tritt eine augenfällige Beruhigung ein. Am günstigsten wirkt NOLUDAR<sup>(R)</sup> bei nervösen Schlafstörungen. Bei Klein- und Schulkindern besteht tagsüber eine recht starke sedative Wirkung nach einer Dosis von 125-250 mg dreimal täglich. Einschlafstörungen können mit der gleichen Einzeldosis überwunden werden. Auch bei längerer Applikation wirkt sich das Präparat nicht nachteilig auf die Leukozytenzahlen und das gesamte Blutbild aus. Leber- und Nierenparenchymschäden wurden nicht beobachtet; bei bestehenden Schäden trat keine Verschlechterung ein. Nach längerer Darreichung läßt sich jedoch eine mäßig beschleunigte Blutkörperchensenkungsgeschwindigkeit feststellen. Systolischer und diastolischer Blutdruck sowie auch die Herzfrequenz zeigen sogar nach wochenlanger Darreichung keine Abweichungen von der Norm. Eine Atemdepression ist ebenso nicht zu beobachten. Allergische Reaktionen können sich nach Verabfolgung des Medikamentes einstellen. Anzeichen einer Gewöhnung und Sucht sind nicht beschrieben (W. HORSTMANN). NOLUDAR<sup>(R)</sup> ist angezeigt bei allen leichten und schweren Formen von Schlaflosigkeit, Einschlaf- und Wiedereinschlafstörungen, Angst- und Erregungszuständen. Für die eigenen Versuche erfolgte die Dosierung von 3 mal 1 Tablette zu 200 mg. Um die Patienten für die Untersuchungen ruhigzustellen und sie von Umwelteinflüssen möglichst freizumachen, schien ein Tagessedativum erforderlich zu sein. Bei den Untersuchungen lassen sich Unruhezustände der Patienten erklären. So ist die Anwendung von NOLUDAR<sup>(R)</sup> durchaus für diesen Zweck berechtigt. Hinzukommt, daß das Medikament kaum Nebenwirkungen

zeigt und deshalb gefahrlos gegeben werden kann.

Das zweite Medikament, dessen Wirkung auf die akustisch ausgelösten Vasomotorenreflexe geprüft wurde, war CYRPON<sup>(R)</sup>.

#### V. Die Pharmakologie von CYRPON<sup>(R)</sup>

CYRPON<sup>(R)</sup> (Tropon) ist aus der Reihe der Zwischenneuronenblocker entwickelt worden. Chemisch handelt es sich um 2-Methyl-2n-propyl-1,3-propandioldicarbamat in Form eines weißen kristallinen Pulvers mit bitterem Geschmack und geringem Eigengeruch. Es hat die Strukturformel:

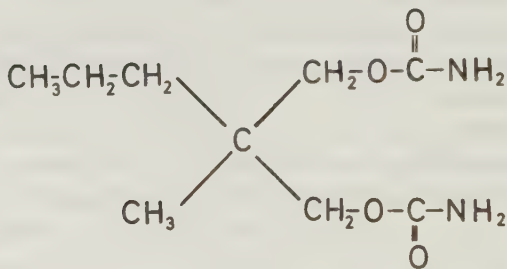


Abb. 7

Strukturformel der Verbindung  
2-Methyl-2 n-propyl-1,3-propandioldicarbamat

Das Medikament wirkt vor allem auf die höheren Zentren und auch besonders gut auf das Thalamusgebiet. Hohe Dosen beeinflussen die Leistungen der Großhirnrinde. Bei normaler Dosis hingegen konnte ähnliches nicht festgestellt werden (P. HOFF, E. A. KRÜGER). Die periphere Wirkung ist gering und tritt zugunsten der zentralen stark zurück. CYRPON<sup>(R)</sup> löst Verkrampfungen und Spannungen. Es schirmt sogleich den Patienten gegenüber äußeren Einflüssen ab. Auch funktionelle Beschwerden und psychosomatisch bedingte organische Erkrankungen lassen sich mit Erfolg behandeln. Das Präparat zeichnet sich durch eine gute Verträglichkeit aus. Damit

sind die Voraussetzungen zur Dauertherapie gegeben. Bei Versuchstieren zeigt CYRPON<sup>(R)</sup> einen beruhigenden und muskelentspannenden Effekt, ohne unmittelbar sedativ hypnotisch zu wirken. Dabei wurde eine Dosis von 50 - 100 mg/kg oral gegeben. Erst mit einer Dosis von 500 mg/kg konnte bei Mäusen eine Verminderung der Laufleistung in der Lauftrommel beobachtet werden.

Sowohl in der Klinik als auch in der Praxis bewährt sich das Medikament zur Beherrschung von Angst- und Spannungszuständen. Außerdem führt es zur Dämpfung der Reizbarkeit, durch Beseitigung von Verkrampfungen zur Verbesserung der Konzentration. Durch Lösung von Spannung, Angst und Unruhe fördert CYRPON<sup>(R)</sup> die Schlafbereitschaft. Ganz besonders in der Pädiatrie wird das Medikament zur Überwindung von Eingewöhnungsschwierigkeiten in eine Klinik gegeben. Vielseitig ist noch die Anwendung des Präparates in der inneren Medizin, der Gynäkologie und Chirurgie.

#### D Ergebnisse

##### I. Besprechung der Volumenpulskurven nach NOLUDAR<sup>(R)</sup> applikation

Insgesamt liegen Ergebnisse von 72 Versuchspersonen vor. Bei 12 normalhörigen Erwachsenen kann über die Wirkung von NOLUDAR<sup>(R)</sup> auf die Volumenpulsschreibung sicheres ausgesagt werden. Diese Ergebnisse werden mit denen von CYRPON<sup>(R)</sup> verglichen. Dreizehn Untersuchungen liegen über die Wirkung von CYRPON<sup>(R)</sup> vor. Mit diesem Medikament folgten 21 Untersuchungen an normalhörigen Kindern. 26 Versuche an schwerhörigen Patienten gestatten eine Aussage, wie sich diese Art der Untersuchungen an ihnen bewährte.

Die Untersuchungen wurden am Abend vorgenommen. Die letzte Dosis NOLUDAR<sup>(R)</sup> hatte der Patient 1 1/2 Stunden vor Versuchsbeginn genommen. Auf Befragen gaben die Probanden an, daß sie ausgesprochen müde und schläfrig seien. Sie kannten die Wirkung des Medikamentes nicht. Der Kurvenverlauf war jetzt

auffallend ruhig. Eindeutige Reaktionen nach schwelennahen akustischen Reizen zeigte die Volumenpulsschreibung bei Versuchsbeginn, 10 Minuten später erst bei sehr großer Intensitätserhöhung. Der Patient war inzwischen eingeschlafen oder nahe dem Einschlafen.

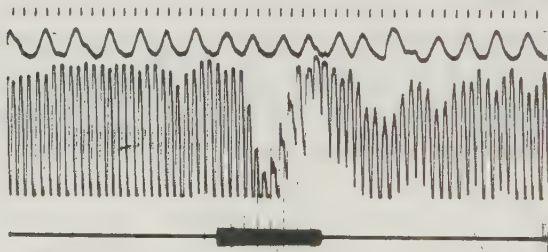


Abb. 8

Eindeutige Gefäßreaktion nach einem  
schwelennahen akustischen Reiz bei Versuchsbeginn  
Vp. Nr. 6. 34 Jahre 4000 Hz 20 dB (nach NOLUDAR(R)gabe)  
Subjektive Hörschwelle 10 dB  
(Die untere dicke Linie markiert die Dauer des akustischen Reizes)

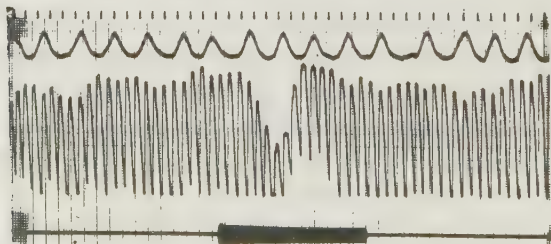


Abb. 9

Eindeutige Gefäßreaktion nach großer  
Intensitätserhöhung 25 Minuten nach Versuchsbeginn  
Vp. Nr. 6. 34 Jahre 4000 Hz, 45 dB (nach NOLUDAR(R)gabe)  
Subjektive Hörschwelle 10 dB.

Volumenpulsänderungen nach schwelennahen akustischen Reizen konnten als deren Reaktionen dann nicht sicher beurteilt werden, wenn sich die Versuchsperson auf Anordnung des Untersuchers wachhalten sollte. Der Kurvenverlauf wurde jetzt sehr unruhig, weil der Proband angestrengt, verkrampft und nicht entspannt war.

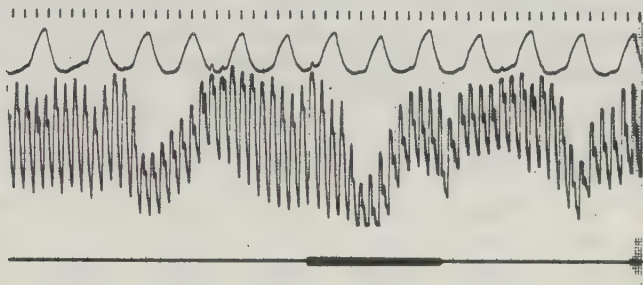


Abb. 10

Volumenpulscurve eines Probanden, der sich wachhalten sollte.  
Vp. Nr. 3. 39 Jahre 2000 Hz, 15 dB (nach NOLUDAR<sup>(R)</sup> gabe)  
Subjektive Hörschwelle 5 dB.

Auch Intensitätserhöhungen führten in diesen Fällen nicht zu klaren Ergebnissen. Die verwertbare Volumenpulscurve zeigt einen ruhigen Verlauf und eine Amplitudenverkleinerung, sobald die Versuchsperson den akustischen Reiz wahrnimmt. Nach einiger Zeit erreicht die Amplitudenverkleinerung ihren Minimalwert und gelangt dann auf ihren Ausgangswert zurück.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß eine Änderung der Amplitudenverkleinerung, der Latenzzeit bis zur maximalen Reaktion und Dauer derselben bei dem gleichen Tonreiz vor und nach NOLUDAR<sup>(R)</sup> applikation sehr geringfügig und von der Intensität abhängig ist. Dabei ist es völlig gleichgültig, ob z. B. die Amplitudenverkleinerung bei 250 Hz 35,67 % vor NOLUDAR<sup>(R)</sup> oder 38,25 % ihres Ausgangswertes nach NOLUDARapplikation

auf einen akustischen Reiz hin beträgt. Entscheidend sind Größe der Intensität und Wert ihrer Erhöhung. Die stärkere Amplitudenverkleinerung um 2,58 % nach NOLUDARmedikation wäre wohl schwer zu deuten, wüßte man nicht, daß die Intensität um durchschnittlich 13 dB bei der Frequenz von 250 Hz erhöht werden mußte, damit überhaupt eine Reaktion zustandekam. Aus dem Grunde sind die genannten Größen nicht verglichen worden.

Intensitätserhöhung nach NOLUDAR<sup>R</sup>gabe in dB  
bei erwachsenen Probanden.

| H <sub>z</sub> | 250   | 1000  | 2000  | 4000 | 8000 |
|----------------|-------|-------|-------|------|------|
| m              | 13,00 | 10,61 | 10,34 | 9,32 | 6,71 |
| s              | 5,78  | 1,65  | 6,68  | 3,86 | 2,88 |
| fm             | 1,81  | 0,52  | 2,09  | 1,21 | 0,90 |

verglichen sind die Werte der objektiven Hörkurven vor und nach No.

Tab. 1

m/Vp.=Mittelwert pro Versuchsperson

m = Mittelwert, s=Standardabweichung,

fm = mittlerer Fehler, nNo = nach NOLUDAR<sup>(R)</sup>gabe.

Zur Berechnung der Werte dienten folgende Formeln:

$$s = \sqrt{\frac{\sum a^2}{n} - \left(\frac{\sum a}{n}\right)^2}$$

(nach SOLTH)

$$fm = \frac{a}{\sqrt{n - 1}}$$

a = Einzelwert

n = Zahl der Versuchspersonen

s = Standardabweichung

Wegen der starken Schlafwirkung ist NOLUDAR<sup>(R)</sup> für den erwähnten Zweck der Untersuchungen ungeeignet. Deshalb wurde die Volumenpulsschreibung bei Erwachsenen nach CYRPON<sup>(R)</sup>gabe fortgesetzt und das Medikament auf seine Brauchbarkeit hierfür geprüft.

## II. Besprechung der Volumenpulskurven von Erwachsenen nach CYRPON<sup>(R)</sup> applikation

Erwachsene erhielten für die Untersuchungen 3 x 2 Dragees CYRPON<sup>(R)</sup> zu 200 mg. Die Volumenpulsschreibung erfolgte 1 1/2 Stunden nach der letzten Dosis. Auf Befragen hin gab kein Patient die Antwort, daß er müde sei. Alle prämedizierten Probanden kannten die Wirkung des gegebenen Präparates nicht. Lediglich waren den Patienten die Versuchsbedingungen und Räume bekannt. Drei Patienten gaben von selbst an, sich entspannter, leichter und ruhiger zu fühlen. Die Äußerungen der Patienten erschienen glaubhaft, weil ihre Empfindungen tatsächlich auf der Wirkung von CYRPON<sup>(R)</sup> beruhen konnten. Die Volumenpulskurven aller mit diesem Medikament vorbereiteten Probanden zeigten im Vergleich zum ersten Versuch ohne Sedierung einen ruhigeren Verlauf. Bei der Registrierung kam es nicht zu den Schwierigkeiten, die nach NOLUDAR<sup>(R)</sup> verabfolgung wegen der starken schlaffördernden Wirkung bestanden. Tabelle 2 zeigt die Intensitätserhöhungen nach CYRPON<sup>(R)</sup> gabe.

Intensitätserhöhung nach CYRPON<sup>R</sup>gabe in dB  
bei erwachsenen Probanden.

| Hz | 250  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|----|------|------|------|------|------|
| m  | 8,33 | 7,00 | 5,23 | 7,12 | 1,25 |
| s  | 7,45 | 3,73 | 3,73 | 1,87 | 1,38 |
| fm | 2,24 | 1,12 | 1,12 | 0,56 | 0,42 |

verglichen sind die Werte der objektiven Hörkurven vor und nCy.

Tab. 2

m/Vp Mittelwert pro Versuchsperson

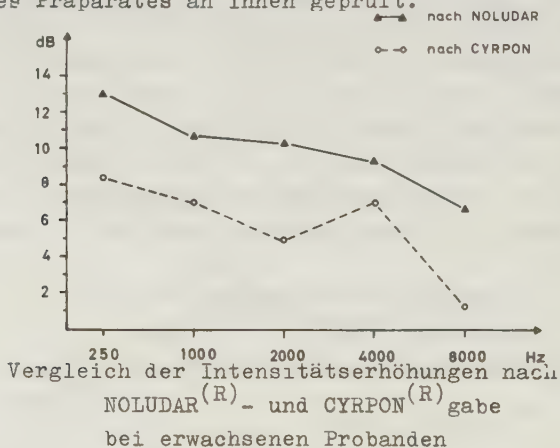
s = Standardabweichung

fm = mittlerer Fehler

n/Cy = nach CYRPON<sup>(R)</sup> gabe bei Erwachsenen

Am größten war die Intensitätserhöhung mit 8,3 dB bei 250 Hz, am kleinsten mit 1,25 dB bei 8000 Hz. Es fand sich eine durchschnittliche Intensitätserhöhung von 5,8 dB für alle geprüften Frequenzen zusammen berechnet. Durch Sedierung der Probanden mit CYRPON<sup>(R)</sup> ließen sich recht gute Untersuchungsbedingungen schaffen.

Um 42,6 % lag die Intensitätserhöhung nach NOLUDAR<sup>(R)</sup> über der nach CYRPON<sup>(R)</sup> applikation. Der Vergleich zeigt die bessere Wirkung von CYRPON für diese Zwecke. Deshalb wurden die Untersuchungen bei Kindern unter den gleichen Bedingungen wie bei Erwachsenen nach CYRPON<sup>(R)</sup> gabe fortgesetzt und die Wirkung des Präparates an ihnen geprüft.



### III. Volumenpulsschreibung bei Kindern vor und nach Sedierung mit CYRPON<sup>(R)</sup>

Nach CYRPON<sup>(R)</sup> verabreichung von 3 x 1 Dragee zu 200 mg schienen die Kinder zutraulicher, gelöster und nicht so ängstlich wie beim ersten Versuch ohne Sedierung zu sein. Die subjektiven Beobachtungen fanden ihre Bestätigung durch die objektiven Messungen und Ergebnisse. Ganz auffallend war der ruhige Kurvenverlauf im Vergleich zum ersten Versuch. Vorhandene Reaktionen nach schwellennahen akustischen Reizen konnten jetzt eindeutig erkannt werden. Sicher muß diese

Tatsache auf der entspannenden Wirkung des Präparates beruhen.

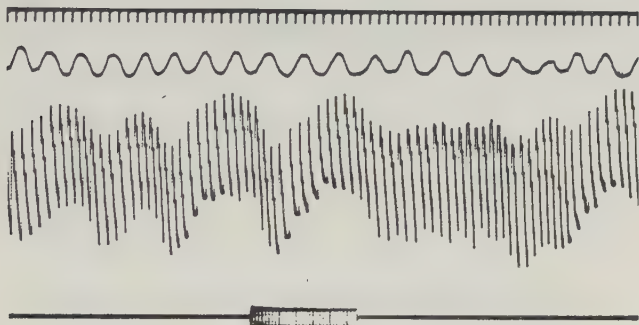


Abb. 11

Unruhiger Kurvenverlauf vor CYRPON(R)darreichung  
Vp. Nr. 34 10 Jahre 2000 Hz 10 dB  
Subjektive Hörschwelle 5 dB

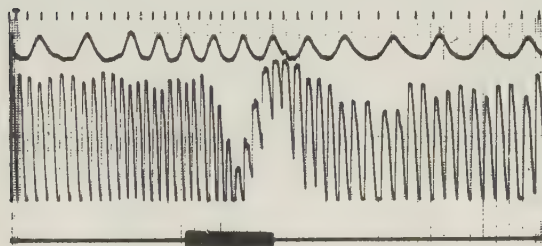


Abb. 12

Ruhiger Kurvenverlauf mit eindeutiger Gefäß-  
reaktion nach CYRPON(R)darreichung bei der  
gleichen Versuchsperson wie in Abb. 11  
Vp. Nr. 34 10 Jahre 2000 Hz 15 dB  
Subjektivhörschwelle 5 dB

Aus der folgenden Tabelle ist die Intensitätserhöhung nach CYRPON<sup>(R)</sup>gabe zu ersehen.

Intensitätserhöhung nach CYRPON<sup>R</sup>gabe in dB  
bei Kindern.

| Hz | 250   | 1000  | 2000  | 4000  | 8000  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| m  | 12,22 | 12,78 | 10,28 | 16,10 | 13,33 |
| s  | 4,23  | 1,96  | 3,50  | 9,04  | 5,89  |
| fm | 0,95  | 0,44  | 0,78  | 2,02  | 1,32  |

verglichen sind die Werte der objektiven Hörkurven vor und nCy.

Tab. 3

m/Vp = Mittelwert pro Versuchsperson

s = Standardabweichung

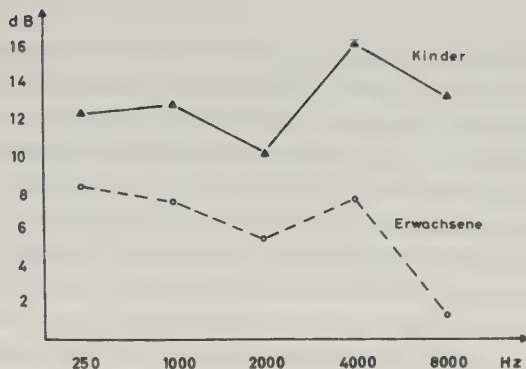
fm = mittlerer Fehler

n/Cy = nach Cyrpongabe bei Kindern

Eine Änderung der Latenzzeit bis zur maximalen Reaktion, der Dauer der Reaktion und der Amplitudenverkleinerung blieb auch hier wegen nur sehr geringfügiger Abweichungen unberücksichtigt. Entscheidend ist die Auslösung des Reflexes in Abhängigkeit von der Intensität.

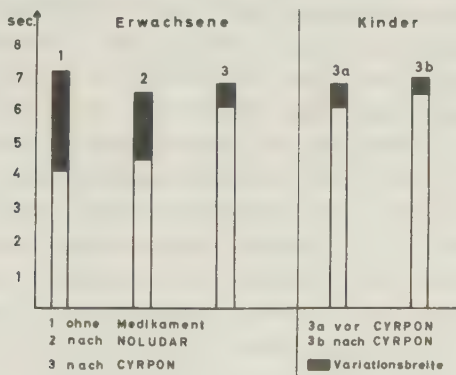
#### IV. Vergleiche der Intensitätserhöhungen nach Sedierung von Erwachsenen und Kindern sowie Diskussion der Ergebnisse

Der Vergleich ergibt, daß nach CYRPONGabe die Intensitätserhöhung bei Kindern größer als bei Erwachsenen ist. Sie beträgt im ganzen bei Erwachsenen, für alle Frequenzen im Durchschnitt zusammen berechnet, 5,8 dB, bei Kindern 12,94 dB. Die Intensitätserhöhung ist bei ihnen um 66,56 % größer als bei Erwachsenen. Größere Intensitäten mußten also aufgebracht werden, um bei Kindern Reaktionen nach schwellennahen akustischen Reizen in der Volumenpulsschreibung zu bekommen.



Vergleich der Intensitätserhöhung nach CYRPONGabe bei Erwachsenen und Kindern

Trotzdem ist das Präparat durchaus für objektive Höruntersuchungen zur Ruhigstellung der Kinder auf Grund der gefundenen Werte geeignet. Vergleiche der Amplitudenverkleinerung, der Latenzzeit bis zur maximalen Reaktion sowie ihrer Dauer lassen keinen Unterschied zwischen Erwachsenen und Kindern erkennen. Die Dauer der Amplitudenverkleinerung durch Gefäßreaktionen nach schwelennahen akustischen Reizen soll folgende Darstellung zeigen.



Vergleich der Dauer der Amplitudenverkleinerung durch Gefäßreaktionen vor und nach NOLUDAR(R)- und CYRPON(R)darreichung bei Erwachsenen und Kindern

Mit der Verkleinerung der Amplitude sinkt in vielen Fällen auch die Volumenpulscurve unter ihre Basislinie, was auf der Abnahme der Blutfülle im Meßbereich beruhen könnte. Ihre Dauer ist stets kürzer als die Amplitudenverkleinerung. Nachschwankungen traten nur in 2 % nach akustischen Reizen auf. Sie können wahrscheinlich nicht als primäre Gefäßreaktionen auf einen akustischen Reiz hin gedeutet werden. Vielleicht liegt in diesen Fällen eine starke Affektwirkung vor, deren Normalisierung und Ausgleich im Wechsel stattfinden. Eine andere Erklärung sieht der Untersucher in der Spannung und Entspannung sowie in der Erwartungssituation und ihrer Lösung nach einem Tonreiz. Alle Patienten wissen, daß sie sich während des Versuches ruhig verhalten sollen, ganz besonders während und nach einem Schallreiz. Die darauf gerichtete Aufmerksamkeit, dieser Anweisung gut nachzukommen, führt eventuell zu Gefäßreaktionen, die sich in Nachschwankungen zeigen können. Die Pulsfrequenz erfährt keine Änderung.

Bei den Untersuchungen von sedierten Kindern fand sich die größte Intensitätserhöhung mit 16,1 dB bei 4000 Hz, die zweitgrößte mit 13,3 dB bei 8000 Hz und die geringste mit 10,28 dB bei 2000 Hz, um Gefäßreaktionen auszulösen. Im Gegensatz dazu ist bei prämedizierten Erwachsenen die Intensitätserhöhung von 1,25 dB bei 8000 Hz der niedrigste Wert, von 8,33 dB bei 250 Hz der größte. Der Untersucher nimmt an, daß für die hohen Frequenzen von 8000 und 4000 Hz bei Kindern verminderte Affektwirkung und geringerer Grad der Neuheit im Vergleich zu Erwachsenen bestehen. KOTTMEYER stellte in seinen Versuchen fest, daß tiefe Klänge bei geringerer Intensität als hohe die Gefäßreaktionen auslösen, was in den eigenen Versuchen nicht gefunden werden konnte. Sie zeigten die größte erforderliche Intensitätserhöhung aller bei Erwachsenen geprüften Frequenzen mit 8,3 dB bei 250 Hz. Weiter berichtet KOTTMEYER an Hand seiner Ergebnisse, mittlere Frequenzen seien für die Auslösung des Reflexes weniger wirksam als tiefe, eine Tatsache, die schwer zu erklären sei, weil im Bereich von 2000 Hz die Empfindlichkeit des

menschlichen Ohres am größten ist. Hiermit stimmen die eigenen Ergebnisse insoweit nicht überein, weil bei Erwachsenen die zweitniedrigste Intensitätserhöhung mit 5 dB bei einer Frequenz von 2000 Hz und bei Kindern die niedrigste mit 10,28 dB gefunden wurde. Der Untersucher schließt daraus, daß bei 2000 Hz neutrale Affektivität und indifferenter Grad der Neuheit eines Schallreizes sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern vorliegen.

#### V. Objektive Höruntersuchungen mittels der Volumenpuls-schreibung bei schwerhörigen Kindern

Es zeigte sich, daß die körperliche und geistige Entwicklung der Kinder für diese Versuche besonders entscheidend war. Über den Entwicklungsrückstand hörgestörter Kinder wurde am Anfang der Arbeit allgemein berichtet. Im folgenden werden die klinischen Untersuchungsbefunde, soweit sie zum Verständnis wichtig sind, im einzelnen angeführt und die Ergebnisse objektiver Untersuchungen besprochen.

Das 6,6 Jahre alte Kind H. M. ist ruhig, freundlich und kontaktreich. Es erfüllt alle kleinen Anforderungen sofort, sowie es sie verstanden hat. Jedoch kann der Junge weder einen Knopf zuknöpfen, noch sich irgendein Kleidungsstück an- oder ausziehen. Auch bei dem Entwicklungstest zeigte sich eine deutliche Retardierung. Er hat große Schwierigkeiten mit dem Zusammensetzen der Hampelmannfigur und kann auch keine Merkfähigkeitsaufgaben lösen. Beim freien Bauen zeigt er nur wenig Einfälle, kommt aber beim Geduldspiel mit Ausdauer und entsprechender Mühe zu einem guten Ergebnis. Das Entwicklungsalter von fünf Jahren ist noch nicht erreicht (Universitäts-Nervenklinik Abteilung Kinder- und Jugendpsychiatrie Marburg/Lahn). Bei dem Kinde besteht eine hochgradige Innenohrschwerhörigkeit beiderseits. Es lautet durch Sprachtraining bei den Wörtern Auto, Mama, Papa nur die erste Silbe. Bei lustbetonten Sachen stößt H. M. unartikulierte Laute aus. Öfters miaut er leise vor sich hin (Universitäts-Hals-, Nasen-, Ohrenklinik, Sprachabteilung Marburg/Lahn).

Zu Beginn des Versuches der objektiven Audiometrie mittels der Volumenpulsschreibung war das Kind zunächst sehr ängstlich und mißtrauisch, aber bald konnte sein Vertrauen gewonnen werden. Mit allen Versuchsbedingungen und den Manipulationen schien es einverstanden zu sein. Trotz Intensitäten bis zu 120 dB verhielt es sich während der gesamten Versuchsdauer von ca. 40 Minuten ausgesprochen ruhig. Hin und wieder miaute H. M. leise und stieß unartikulierte Laute aus, was unabhängig von den Schallreizen erfolgte. Bei Tongabe kam es hin und wieder zum Lidreflex. Der Verlauf der Volumenpulskurve blieb sehr gleichmäßig. Vorhandene Amplitudenänderungen, die vermutlich als Reaktionen nach akustischen Reizen zu deuten sind, ließen sich auf tiefe mitregistrierte Atemzüge zurückführen. Im ersten Versuch war keine Reaktion nach sechs Schallreizen bei einer Frequenz von 4000 Hz zu verzeichnen, ebenso nicht nach je vier Schallreizen bei 1000, 2000 und 8000 Hz. Bei einer Frequenz von 250 Hz kam es mit einer Intensität von 120 dB einmal zu einer sicheren, dagegen zweimal zu absolut negativen Reaktionen. Eine Reaktion muß in Frage gestellt bleiben. In fünf folgenden Versuchen fand sich keine Abweichung von diesem Ergebnis, mit Ausnahme von zwei sicheren Reaktionen bei einer Frequenz von 250 Hz und 120 dB im vierten und fünften Versuch. Dabei spielte sicher eine taktile Empfindung mit. Von den insgesamt 93 auf fünf Versuche verteilt gegebenen Schallreizen kam es fünfmal nur zu einer deutlichen Volumenpulsänderung, und zwar immer bei 250 Hz und 120 dB. Durch die Spielaudiometrie konnten folgende Werte ermittelt werden: 4000 Hz 90 dB, 250 Hz 70 dB, 2000 Hz 90 dB, 8000 Hz 110 dB, 1000 Hz 80 dB.

Der klinische Befund (Universitäts-Nervenlinik, Abteilung Jugendpsychiatrie Marburg/Lahn) eines 4,4 Jahre alten Mädchens ergab im HETZER Test ein recht gut begabtes Kind. Aufgaben im selbständigen Denken wurden sofort richtig gelöst. Das soziale Verhalten war bereits gut ausgeprägt, die Merkfähigkeit im Bereich der Norm. Bei manuellen Betätigungen

zeigte sich das Kind geschickt und recht selbständig. Es handelte sich um ein insgesamt sehr aufgewecktes, geistig altersgemäß gut entwickeltes Mädchen. Es bestand eine hochgradige Innenohrschwerhörigkeit mit ausgeprägten Wortfindungsstörungen (Universitäts-Hals-, Nasen-, Ohrenklinik Marburg/Lahn). Während der Volumenpulsschreibung nach akustischen Reizen blieb S. B., die zutraulich, zugewandt und nicht ängstlich war, sehr ruhig liegen, woraus der entsprechend gleichmäßige Kurvenverlauf resultierte. Ein Lidreflex sollte hin und wieder auf Schallreize hin nach Beobachtungen von einer Hilfsperson erfolgt sein. Auf 61 Schallreize hin mit Intensitäten von 120 dB, verteilt auf drei Versuche, kam es nur bei der Frequenz von 250 Hz sechsmal zur Volumenpulsänderung. In allen anderen Fällen blieb sie aus. Durch die Spielaudiometrie konnten folgende Werte ermittelt werden: 4000 Hz 110 dB, 250 Hz 80 dB, 2000 Hz 110 dB, 8000 Hz 100 dB, 1000 Hz 110 dB. 15 Untersuchungen an schwerhörigen Kindern folgten mit dem gleichen Ergebnis. Unter diesen bedarf einer noch besonderer Erwähnung, Ein drei Jahre acht Monate altes Kind, R. D., bei dem ebenfalls eine hochgradige Innenohrschwerhörigkeit bestand, hatte im dritten Versuch bei 2000 Hz nach drei von fünf gegebenen akustischen Reizen mit einer Intensität von 120 dB sichere Gefäßreaktionen. Die Spielaudiometrie ergab eine Intensität von 100 dB bei 2000 Hz. R. D. war außerordentlich geistig rege und auch altersmäßig in der Entwicklung über dem Durchschnitt. Er lautete Zwei-Wortsätze und verstand gut (Universitäts-Hals-, Nasen-, Ohrenklinik Sprachabteilung).

#### VI. Besprechung der Ergebnisse von Untersuchungen schwerhöriger Kinder

Bei den untersuchten schwerhörigen Kindern kam es nur nach Schallreizen von 250 Hz und 120 dB zu Volumenpulsänderungen, die als fragliche taktile Reizempfindungen zu deuten sind. In einem Versuch konnten bei 2000 Hz und 120 dB Gefäßreaktionen beobachtet werden. Obwohl durch die Spielaudiometrie

Hörreste nachgewiesen wurden, ließen sich diese mit den eigenen Untersuchungen nicht feststellen. Nach LEHMANN muß ein äußerer Reiz bis zum Bewußtsein durchdringen, um körperliche Reaktionen auszulösen. Sie seien um so mehr ausgeprägt, je mehr ein psychischer Zustand die Aufmerksamkeit fessele und im Bewußtsein zur Geltung komme. Der Untersucher nimmt als Grund für die ausbleibenden Gefäßreaktionen nach akustischen Reizen auch das Fehlen ihrer Affektwirkung bei hörgestörten Kindern an, die erstmalig zum Hörtraining kamen. Weil bei ihnen der Affekt nicht besteht, so schließt der Verfasser, muß auch der Grad der Neuheit fehlen. Der vasomotorische Reflex bleibt aus. Stimmt diese Vermutung, so müßten Volumenpulsänderungen bei im Alter schwerhörig gewordenen Patienten nach entsprechend lauten Schallreizen auftreten. Bei schwerhörigen Erwachsenen wurden die Untersuchungen fortgesetzt.

#### VII. Volumenpulsschreibung nach akustischen Reizen bei schwerhörigen Erwachsenen

Seit zwei Jahren bemerkt ein 24 Jahre alter Patient, B. S., zunehmende Schwerhörigkeit beiderseits. Das Audiogramm ergibt eine kontinuierliche vorwiegende Schalleitungsschwerhörigkeit beiderseits. Links scheint sie stärker ausgeprägt zu sein als rechts, was, gemäß den Angaben des Patienten nicht sicher war. GELLE bei 1000 Hz und a<sub>1</sub> deutlich schwankend, erweiterter GELLE nicht schwankend. Der Patient kann die laute Umgangssprache besonders aus der Nähe gut verstehen. Die klinische Diagnose lautet nach dem Audiogramm Otosklerose beiderseits. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Ein Vergleich der Werte zwischen subjektiver und objektiver  
Hörkurve in dB.

| Subj. | Hz   | Obj. |
|-------|------|------|
| 60    | 250  | 60   |
| 40    | 1000 | 80   |
| 70    | 2000 | 80   |
| 90    | 4000 | 90   |
| 120   | 8000 | 120  |

Subj.: subjektive Hörschwelle  
Obj.: objektive Hörschwelle  
Vp. B. S. 24 J.

Tab. 4

Außer bei 2000 Hz, wo die Intensität um 10 dB und bei 1000 Hz um 40 dB erhöht ist, stimmen die objektiv gefundenen Werte sogar genau mit denen der subjektiven Hörkurve überein. Durch weitere Untersuchungen konnten objektive Hörkurven bei schwerhörigen Erwachsenen ermittelt werden. Vergleiche der objektiv gefundenen und mittels der Audiometrie festgestellten Werte erfordern im hörgestörten Bereich bei diesen Patienten eine durchschnittliche Intensitätserhöhung von 25 dB, um Gefäßreaktionen auszulösen.

Untersuchungen an drei schwerhörigen Kindern mittleren Grades mit einem Hörverlust von 40 - 60 dB ergaben plethysmographische Reaktionen nach akustischen Reizen bei Intensitäten, die durchschnittlich 30 dB über den Werten lagen, die durch die Spielaudiometrie gefunden wurden. Es war also mit der Volumenpulsschreibung möglich, objektive Hörkurven bei drei mittelgradig schwerhörigen Kindern zu bestimmen, was bei hörgestörten Kindern mit einem Hörverlust von 80 - 110 dB nicht gelungen ist. Bei den untersuchten schwerhörigen Patienten bestand im Gegensatz zu Normalhörigen kein Unterschied der Intensitätserhöhung vor und nach Sedierung mit CYRPON.

Es gelang mit der Volumenpulsschreibung unter medikamentöser Sedierung der Patienten die Bestimmung objektiver Hörkurven nach schwelennahen akustischen Reizen. Die Methode ist leicht zu handhaben, erfordert keinen großen Personalaufwand, und ihre Anwendung ist von zeitlich kurzer Dauer. Große

Bedeutung kommt der affektiven Wirkung der Schallreize zu. Sie liegt im Grad der Neuheit begründet. Deshalb wurde die Reihenfolge der Schwebungsklänge auch so gewählt, daß zwischen ihnen die möglichst größte Differenz besteht, wodurch die Reflexminderung oder progressive Indifferenz des Reizes herabgesetzt werden soll. DARROW und Mitarbeiter deuten dieses, indem sie einen Übergang der Kontrolle der Reaktionen auf subcorticale Zentren annehmen. Schwebungsklänge haben, wie bereits besprochen, gegenüber Sinustönen sichere Wirkung auf die Gefäßreaktion (KOTTMEYER).

Abschließend sei die Untersuchung des Patienten A. M. mittels der Volumenpulsschreibung angeführt, dem durch die objektive Audiometrie ein bestehender Hörrest nachgewiesen wurde. A. M. glaubte, mit seinem rechten Ohr überhaupt nichts wahrnehmen zu können. Als Kind war er an einer Mittelohrentzündung erkrankt, wofür sich jetzt klinisch kein Anhalt mehr fand. Seit dem bestand dieser Hörverlust. Von dem damals behandelten Arzt und in der Folgezeit auch von seinen Eltern wurde ihm die Taubheit seines rechten Ohres dargelegt. Tatsächlich habe er auch nichts gehört. Diese fixierte Idee und der Hörverlust konnten durch Volumenpulsmessung nach Schallreizen entkräftet werden. Zu deutlichen Reaktionen kam es bei 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 100 dB, bei 4000 und 8000 Hz und 110 dB. Durch dieses Beispiel erfährt die objektive Audiometrie auch eine weitere Bestätigung und Berechtigung in ihrer Anwendung bei hörgestörten Patienten.

### E. ZUSAMMENFASSUNG:

Zu Beginn der Ausführungen objektiver Höruntersuchungen mittels der Volumenpulsschreibung wird über die Bedeutung von Hörstörungen, über ihre Folgen und Erkennung besonders bei Kindern berichtet. Anschließend folgt die Beschreibung der Diagnosemöglichkeiten durch die Audiometrie unter Berücksichtigung objektiver Hörprüfungen und ihrer Methoden. Der Einfluß akustischer Reize auf den Kreislauf wird diskutiert, was zu dem Thema der Durchblutungsänderungen und deren verschiedenen Registriermöglichkeiten überleitet.

Die eigenen Untersuchungen sollten mittels der Volumenpuls-schreibung Gefäßreaktionen nach schwelennahen akustischen Reizen prüfen. Der Proband befand sich in einer Camera silens und hörte über einen gut anliegenden Kopfhörer die geprüften Frequenzen von 250, 1000, 2000, 4000 und 8000 Hz bei Intensitäten, die der subjektiven Hörschwelle nahe lagen. Wegen der besseren Affektwirkung von Schwebungsklängen (KOTTMEYER) wurden sie als Prüftöne verwendet, und zwar in folgender Reihenfolge: 4000, 250, 2000, 8000 und 1000 Hz. Damit war die größte Differenz zwischen den vorausgegangenen und folgenden Frequenzen gegeben. Der Wechsel hoher und tiefer akustischer Reize sollte wegen der Neuheit des Tones bessere affektive Wirkung erzeugen. Die Gefäßreaktionen wurden am linken Mittelfinger des Probanden durch zwei streifenförmige Elektroden abgenommen und über einen Rheographen vom Cardiostaten registriert. In 72 verwertbaren Versuchen liegen Beobachtungen über die Durchblutungsänderungen vor. Nach einem wahrgenommenen akustischen Reiz zeigte die Volumenpulskurve eine Amplitudenverkleinerung. Sie trat nach einer Latenzzeit von 4 - 6 sec ein. Die Reizdauer für die jeweils geprüfte Frequenz betrug 12 - 16 sec. Sicher zu beurteilen sind Änderungen der Volumenpulskurve nach einem akustischen Reiz nur bei zuvor gleichmäßigem, ruhigem Kurvenverlauf. Deshalb mußte der Proband während des Versuches, der 30 - 40 Minuten dauerte, ruhig liegen und entspannt sein. Auch vertiefte Atemzüge führten zur Amplitudenverkleinerung. Aus diesem

Grunde wurde die Atmung mitregistriert. Änderungen der Amplitudengröße infolge tiefer Atemzüge konnten dann richtig gedeutet werden.

Medikamente sollten die psychische Entspannung und das ruhige Verhalten der Patienten während der Volumenpuls-schreibung herbeiführen. NOLUDAR<sup>(R)</sup> wurde auf seine Wirkung bei normalhörigen Erwachsenen geprüft. Das Präparat zeigte sich jedoch für diese Untersuchungen nicht geeignet. Reaktionen nach schwellennahen akustischen Reizen blieben aus oder kamen erst nach großer Intensitätserhöhung zustande. Sie betrugen 13 dB bei 250 Hz, 10,6 dB bei 1000 Hz, 10,3 dB bei 2000 Hz, 9,3 dB bei 4000 Hz und 6,7 dB bei 8000 Hz.

CYRPON<sup>(R)</sup> führte eine ausreichende Entspannung und Beruhigung der Probanden herbei, ohne die Reaktionen abzuschwächen. Die erforderliche Intensitätserhöhung zur Auslösung einer Reaktion war geringer als bei den Versuchen nach NOLUDAR<sup>(R)</sup>-applikation. Anschließend wurde die Wirkung von CYRPON<sup>(R)</sup> auf die Volumenpulsschreibung bei normalhörigen Kindern geprüft. Dabei zeigte sich nach Anwendung des Präparates ein ruhigerer Kurvenverlauf als ohne medikamentöse Sedierung. Die Intensitäten mußten bei 250 Hz um 12,22 dB, bei 1000 Hz um 12,78 dB, bei 2000 Hz um 10,28 dB, bei 4000 Hz um 16,16 dB und bei 8000 Hz um 13,33 dB erhöht werden, damit Gefäßreaktionen zustandekamen. Sie sind im Vergleich mit denen bei Erwachsenen nach CYRPON<sup>(R)</sup> um durchschnittlich 7,14 dB = 66,56 % größer.

Hörgestörte Kinder mit einem Hörverlust von 80 - 100 dB zeigten nach akustischen Reizen mit Intensitäten von 120 dB keine Volumenpulsänderungen. Schwerhörige Erwachsene und Kinder mit einem Hörverlust von 60 dB reagierten auf Schallreize, deren Intensitäten bei erwachsenen Probanden 25 dB und bei Kindern 30 dB über den Werten lagen, die bei der Prüfung am ATLAS Audiometer gefunden wurden. Unter der Anwendung von CYRPON<sup>(R)</sup> war eine objektive Bestimmung der Hörkurven mittels der Volumenpulsschreibung bei normal- und

mittelgradig schwerhörigen Erwachsenen wie auch bei Kindern möglich. In den eigenen Untersuchungen ließen sich jedoch keine Volumenpulsänderungen nach akustischen Reizen bei schwerhörigen Kindern mit einem Hörverlust von 80 - 100 dB feststellen. Die affektive Wirkung und Reflexbahnung schienen auszubleiben.

## F Literaturverzeichnis

- ALBRECHT, W.: Die Trennung der nichtorganischen von der organischen Hörstörung mit Hilfe des psychogalvanischen Reflexes. Arch. Ohr., Nas.- u. Kehlk.-Heilk. 101, 1 (1918).
- BECKMANN, G.: Das hörgestörte Kind. Arch. Ohr., Nas.- u. Kehlk.-Heilk. 180, 1 (1962).
- BETZ, E. und HENSEL, H.: Fortlaufende Registrierung der lokalen Durchblutung im Innern des Gehirns bei wachen, frei beweglichen Tieren. Pflügers Arch. ges. Physiologie 274, 608 (1962).
- BORDLEY, J.E. u. HARDY, W.G.: Evaluation of hearing in young children. Acta oto-laryng. (Stockh.) 40, 346 (1951/52).
- BRECHT, K. und BOUCKE, H.: Die Infratonosillographie, eine neue Methode zur Kontrolle der peripheren Durchblutung. Kl. Wsch. 31, 1051 (1953).
- BRINKMANN und ZIJSTRA: zit. bei KAINDL, F.
- DARROW, C.W., VIETH, R.N. und WILSON, J.: Elektroencephalographische Blockierung und Adaptation. Science 126, 74 (1957)
- EWING, J. R. u. EWING, A.W.G.: zit. bei BECKMANN, G.
- GEIGY, J.R.: Documenta Geigy, wissenschaftliche Tabellen, Basel 1962.
- GILDEMEISTER, M.: Der galvanische Hautreflex. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie von BETHE-BERGMANN-EMBDEN-ELLINGER 8, 775 (1928).
- GOETZ, R. H.: Der Fingerplethysmograph als Mittel zur Untersuchung der Regulationsmechanismen in peripheren Gefäßgebieten. Pflügers Arch. ges. Physiol. 235, 271 (1935).
- GOLENHOFEN, K.u. HILDEBRANDT, G.: Psychische Einflüsse auf die Muskeldurchblutung. Pflügers Arch. ges. Physiol. 263, 637 (1957).
- GOLENHOFEN, K.u. HILDEBRANDT, G.: Über spontanrhythmische Schwankungen der Muskeldurchblutung des Menschen. Z. Kreisl. Forsch. 46, 257 (1957).
- HAHLBROCK, K.H.: Die audiometrische Prüfung des akustischen Lidreflexes. Arch. Ohr., Nas.- u. Kehlk.-Heilk. 174, 139 (1959).
- HAUSCHILD, F.: Pharmakologie und Grundlagen der Toxikologie. Leipzig (1960).
- HEEGER, H. POLZER, K. und SCHUHFRIED, F.: Rheocardiographie u. Rheographie. Elektro-Medizin 4, 3 (1959).
- HELMHOLTZ, H. v.: Die Lehre von den Tonempfindungen. 4. Aufl. Braunschweig (1877) S.320 u. 335.
- HELSMORTEL jr., J. u. NYSSSEN, R.: Die Plethysmographie bei der Hörprüfung. J. Neurol.(Brux.) 30, 47 1930 zit. bei KOTTMEYER.

- HENRYSSON, KLEINES Lehrbuch der Statistik. Berlin (1960).
- HASELOFF,
- HOFFMANN:
- HENSEL, H. u. Fortlaufende Bestimmung der Hautdurchblutung mit  
BENDER, F.: thermischen Methoden.  
Pflügers Arch. Physiol. 263, 603 (1956).
- HENSEL, H. u. Fortlaufende Registrierung der Muskeldurchblutung  
RUEF, J.: am Menschen mit einer Calorimetersonde.  
Pflügers Arch. ges. Physiol. 259, 267 (1954).
- HERTZMANN, G., The estimation of the contaneous blood flow with  
RANDALL, F. and the photoelectric plethysmograph.  
JOCHIM, A.: Amer.J.Physiol. 145, 716 (1946).
- HOFF, H.: Medikamentöse Beeinflussung der Seele in Klinik  
und Praxis.  
Die ärztliche Fortbildung 11. Jg. Nr. 5 S. 345 (1961)
- HOFFMANN-LA ROCHE AG.: Über das Verhalten eines neuen Schlafmittels  
aus der Piperidinreihe im Stoffwechsel. Wissen-  
schaftliche Abteilung. Sammelreferat B Noludar (R).
- JAMES, W.: zit. bei KOTTMEYER.
- KAINDL, F., Rheographie, eine Methode zur Beurteilung peri-  
POLZER, K. u. pherer Gefäße. Darmstadt (1959).
- SCHUHFRIED, F.:
- KIESOW, W.: Versuche mit MOSSOs Sphygmomanometer über die durch  
psychische Erregung hervorgerufenen Veränderungen  
des Blutdrucks beim Menschen.  
Wundt.Philosop.Studien 11, 376(1895)zit.b.KOTTMEYER
- KOTTMEYER, G.: Die Möglichkeiten objektiver Höruntersuchungen.  
Dtsch.med.J. 11.Jg. 5.Heft (1960).
- KOTTMEYER, G.: Plethysmographische Untersuchungen nach schwellen-  
nahen sensorischen und sensiblen Reizen.  
Arch. O.-, Nas.- u.Kehlk.-Heilk. 177, 297 (1961).
- KRETSCHMER, E.: Medizinische Psychologie.  
Stuttgart (1950) S. 61.
- LANGE, G.: Über Gemütsbewegungen. 1885.  
Deutsche Übersetzung 1887 zit. bei KOTTMEYER.
- LEHMANN, G. u.  
MEYER-DELIUS, J.: Gefäßreaktionen der Körperperipherie bei Schall-  
eindrücken.  
Westdeutscher Verlag Köln u.Opladen zit.b.KOTTMEYER.
- MATTHES, K.: Kreislaufuntersuchungen am Menschen mit fortlaufend  
registrierenden Methoden. Stuttgart 1951.
- MENTZ, P.: Die Wirkung akustischer Sinnesreizung auf Puls und  
Atmung. Wundt.Philosop.Studien 11, 61 (1859),  
zit. bei KOTTMEYER.
- NIEVEEN u.Mitarb.:zit. bei KAINDL.
- OPITZ, K.: Wirkungen psychotroper Substanzen auf den Stoff-  
wechsel. Arzneim.-Forsch. 12, 333 (1962).

- PRIBILLA, O.: Studien zur Toxikologie der Schlafmittel aus der Tetrahydro-pyridin- und Piperidin-Reihe. Arch. f. Toxikologie, 18. Bd., 1. Heft(1959), S.1.
- REIN-SCHNEIDER: Einführung in die Physiologie des Menschen. 12. Aufl. Köln 1956.
- ROSENAU, H.: Beitrag zur Reflexaudiometrie. Arch. Ohr.-, Nas.-u.Kehlk.-Heilk. 178, 476 (1961).
- SCHULZ, E.: Der Lichtreiz bei der psychogalvanischen Reflexaudiometrie. Arch. Ohr.-, Nas.-Kehlk.-Heilk. 172, 553 (1958).
- SNIJDDERS, J.Th. Sprachfreie Tests für Taubstumme. u.SNIJDERS-OEMEN, N.Bl.Tbst.-bild 12, 18 (1958) zit.bei BECKMANN, G. N.:
- STUMPF, G.: Tonpsychologie. Leipzig 1890 S. 480.
- TARCHANOFF, J.: Über die galvanischen Erscheinungen in der Haut des Menschen bei Reizung der Sinnesorgane und bei verschiedenen Formen der psychischen Tätigkeit. Pflügers Arch. ges. Physiol. 46, 46 (1890).
- TROPON: CYRPON<sup>(R)</sup> und CYRPON<sup>(R)</sup> forte.
- TROPON: Angriffspunkte der Psychopharmaka.
- WEBER, E.: Der Einfluß psychischer Vorgänge auf den Körper. Berlin 1910 zit. bei KOTTMEYER.
- WEDENBERG, E.: Auditory tests on new-born infants. Acta oto-laryng.(Stockh.) 46, 446 (1956).
- WHITNEY, R.J.: The measurement of changes in human limbvolume by means of a mercury-in-rubber strain gänge. J. Physiol. (Lond.) 109, 5 (1949).
- WITTKOWER, E.: Einfluß der Gemütsbewegungen auf den Körper. Wien, Leipzig 1937.
- WUNDT, W.: Grundzüge der physiologischen Psychologie. Leipzig 1893.

Herrn Professor Dr. J. Berendes, Direktor  
der Universitätsklinik für Hals-, Nasen-  
und Ohrenkranke, danke ich, daß ich an seiner  
Klinik habe arbeiten dürfen.

Abschließend möchte ich Herrn Dozent  
Dr. G. Kottmeyer für die Überlassung des  
Themas und die freundliche Hilfe bei der  
Durchführung der objektiven Höruntersuchungen  
und bei der Abfassung der Dissertation danken.

## Lebenslauf

Ich wurde am 2. Juli 1936 als Sohn des Geschäftsführers der Raiffeisenkasse Wilhelm Dietzel und seiner Ehefrau Else Dietzel, geb. Frank, in Heldra/Hessen geboren. Im Herbst 1942 trat ich in die Volksschule Heldra ein. Mein Vater starb im Krieg 1944 nach einer Lungenschußverletzung. Seit Herbst 1947 besuchte ich die Friedrich-Wilhelm-Schule, Gymnasium für Jungen, in Eschwege/Hessen. Ohne Schwierigkeiten erreichte ich jedes Jahr das Klassenziel und bestand am 4. März 1957 die Reifeprüfung an der gleichen Schule.

Im Sommer-Semester 1957 begann ich das Medizinstudium an der Philipps-Universität Marburg. Infolge der Verschlechterung des Gesundheitszustandes meiner Mutter verlängerte sich mein vorklinisches Studium. Am 24. Februar 1961 bestand ich die ärztliche Vorprüfung. Das medizinische Staatsexamen legte ich am 1. September 1964 an der Philipps-Universität Marburg ab. Mein Medizinstudium führte ich an der Philipps-Universität Marburg durch.

Seit dem 16. November 1964 arbeite ich als Medizinalassistent und war bisher an folgenden Kliniken und Abteilungen tätig: 16. November 1964 bis 15. März 1965 chirurgische Abteilung des Kreiskrankenhauses Frankenberg/Eder, 15. März 1965 bis 30. Juni 1965 Universitäts-Hals-, Nasen-, Ohrenklinik Marburg/Lahn, 1. Juli 1965 bis 15. November 1965 Universitäts-Frauenklinik Marburg/L. In der Chirurgischen Universitätsklinik Marburg/Lahn bin ich seit dem 15. November 1965 als Medizinalassistent beschäftigt.

Marburg/Lahn, März 1966

Wilhelm Dietzel

Meine akademischen Lehrer waren die Herren  
Professoren und Dozenten:

an der Philipps-Universität Marburg:

Beckmann, Berendes, Bickel, Braun-Falco, Bücher,  
Dimroth, Dittrich, Eggstein, Ehrhardt, Exner,  
Gedigk, Hamm, Hartmann, Hensel, Heuser, Hornung,  
Huber, Jacob, Kottmeyer, Linneweh, Löhr, Lübbers,  
Mahr, v.Manger-König, Matthes, Marx, Maurath,  
du Mesnil de Rochemont, Müller, Neubauer, Niessing,  
Nieth, Oehme, Oehmig, Petry, Pirson, Rodeck,  
Rosemann, Salfeld, Schmid, Schmitz, Schölmerich,  
Schwaiger, Seidel, Siegert, Siess, Straub,  
Streicher, Vogt, Walcher, Waller, Wendt,  
Würterle.

The following table shows the results of the experiments conducted on the effect of the various factors on the rate of the reaction. The results are given in the form of a table, the columns of which are headed by the names of the factors, and the rows by the names of the experiments. The numbers in the cells of the table represent the rate of the reaction, as determined by the method described in the text.

| Experiment | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Factor 4 | Factor 5 |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1          | 0.1      | 0.2      | 0.3      | 0.4      | 0.5      |
| 2          | 0.2      | 0.3      | 0.4      | 0.5      | 0.6      |
| 3          | 0.3      | 0.4      | 0.5      | 0.6      | 0.7      |
| 4          | 0.4      | 0.5      | 0.6      | 0.7      | 0.8      |
| 5          | 0.5      | 0.6      | 0.7      | 0.8      | 0.9      |
| 6          | 0.6      | 0.7      | 0.8      | 0.9      | 1.0      |
| 7          | 0.7      | 0.8      | 0.9      | 1.0      | 1.1      |
| 8          | 0.8      | 0.9      | 1.0      | 1.1      | 1.2      |
| 9          | 0.9      | 1.0      | 1.1      | 1.2      | 1.3      |
| 10         | 1.0      | 1.1      | 1.2      | 1.3      | 1.4      |

The results of the experiments show that the rate of the reaction increases with the increase of the concentration of the reactants. The rate of the reaction is also affected by the temperature, the surface area of the reactants, and the presence of a catalyst. The rate of the reaction is highest when all the factors are at their maximum values, and lowest when all the factors are at their minimum values.



